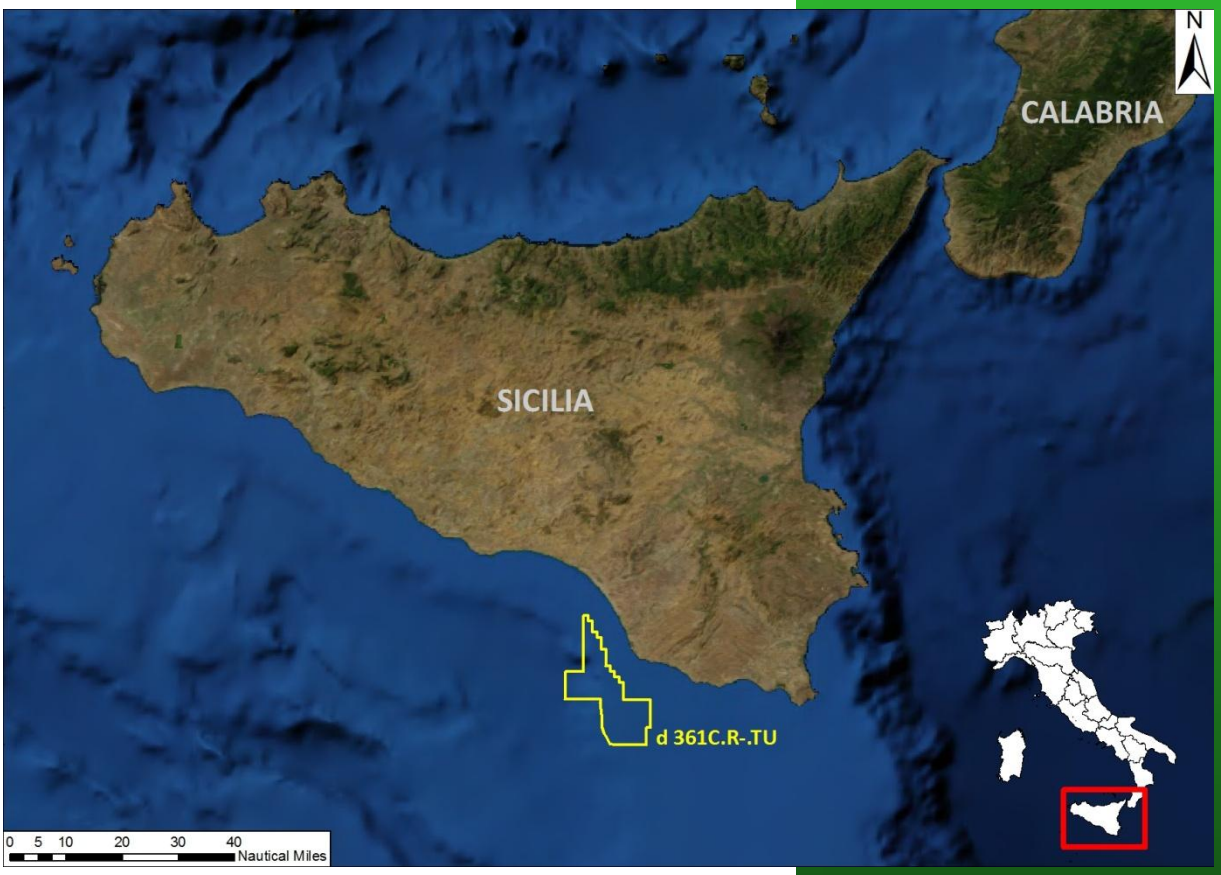
ELABORATO DI PROGETTO

Istanza di Permesso di Ricerca di Idrocarburi in Mare denominata d 361 C.R-.TU



TRANSUNION PETROLEUM Italia S.r.l.
Viale Isacco Newton n.6 00151 Roma
(Italia)

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE 4

1.1 IMPOSTAZIONE DELL'ELABORATO DI PROGETTO 4
1.2 DESCRIZIONE DEL COMMITTENTE 4

2 QUADRO PROGETTUALE 5

2.1 UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO 5
2.2 FINALITÀ DELL'INTERVENTO 6
2.3 PROGRAMMA LAVORI 7
2.3.1 Fase operativa di ricerca 7
2.3.2 Fase operativa di perforazione 7
2.4 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ IN PROGETTO 8
2.4.1 Indagine geofisica: generalità 8
2.4.2 Sorgenti di propagazione di energia 9
2.4.3 Generazione dei segnali sismici 10
2.5 DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE ADOTTATE NELLA RICERCA SISMICA *OFFSHORE* 12
2.5.1 Sorgente di energizzazione: l'air-gun 13
2.5.2 Parametri operativi di progetto per l'acquisizione sismica con air-gun 14
2.5.3 Tipologia delle attrezzature di registrazione 15
2.5.4 Navi per la prospezione sismica in mare 18
2.5.5 Modalità operative 20
2.6 DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI DI PERFORAZIONE 21
2.6.1 Tipologia delle piattaforme di perforazione offshore 21
2.6.2 I meccanismi di compensazione del moto 25
2.6.3 Attività di perforazione del pozzo 25
2.6.4 Attività conclusive 29
2.6.5 Tecniche di prevenzione dei rischi ambientali 30
2.7 EMISSIONI SONORE 30
2.7.1 Modellizzazione della sorgente nel "Far Field" 32
2.8 OCCUPAZIONE DELLO SPECCHIO D'ACQUA 34
2.9 EMISSIONI IN ATMOSFERA 34
2.10 RIFIUTI 35

INDICE DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 2.1 – Ubicazione con relativo perimetro dell'area in istanza di permesso di ricerca "d 361 C.R-.TU" con indicazioni della batimetria 5

Figura 2.2 – Ubicazione dell'area in istanza a mare denominata "d 361 C.R-.TU" con indicazione dei vertici elencati in tabella..... 6

Figura 2.3 – Confronto tra le gli impatti generati sull'ambiente dalle differenti tipologie di indagine sismica disponibili (fonte: convegno nazionale Assomineraria, 2003) 9

Figura 2.4 – Concetti base di sismica a riflessione con i percorsi delle onde captate dai ricevitori (fonte: www.retegeofisica.it).....10

Figura 2.5 - Schema esemplificativo di uno stendimento sismico in mare energizzato da una fonte distante L dall'ultimo idrofono 11

Figura 2.6 - Esempio di sezione sismica non interpretata risultante da coperture multiple 12

Figura 2.7 - Esempio di stendimento e linea di acquisizione sismica in mare (fonte: AAPG).....12

Figura 2.8 - Esempio di caricamento di un *air gun* e rilascio dell'aria compressa verso l'esterno (fonte: www.petroleumgeophysics.com).....13

Figura 2.9 – Disposizione spaziale dei singoli elementi che compongono l'array secondo il modello 4330. In verde sono rappresentati i cluster (elementi sorgente che sono sufficientemente vicini tra loro da agire come sorgente unica) in bianco le sorgenti singole ed in nero le sorgenti di appoggio nel caso di mal funzionamento.....15

Figura 2.10 - Esempio di una serie di idrofoni usati nella prospezione sismica in mare (fonte: www.oilonline.com).....16

Figura 2.11 - Esempio di cavo per l'acquisizione sismica in mare raccolto in una grande bobina metallica (fonte: www.ig.utexas.edu).....17

Figura 2.12 - Esempio di boa di coda in cui è visibile una parte del cavo sismico (fonte: www.jamstec.go.jp) 17

Figura 2.13 – Esempio di piattaforma mobile o jack-up (fonte: www.isleofbarra.com).....22

Figura 2.14 – Esempio di piattaforma semisommergibile (fonte: www.digilander.libero.it).....23

Figura 2.15 - Esempio di *drilling ship* (fonte: www-odp.tamu.edu).....24

Figura 2.16 - Nave appoggio per piattaforma o *supply vessel* (fonte: www.nordcapital.com).....25

Figura 2.17 - Curve di Wenz: l'asse verticale mostra i valori dei livelli sonori (dB re 1 µPa), mentre quello orizzontale le frequenze (fonte: Wenz, 1962) 31

Figura 2.18 - Modello dello spettro della pressione sonora per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330 33

Figura 2.19 - Modello dello spettro di ampiezza per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330.....34

Elaborato preparato da G.E.Plan Consulting S.r.l.

Redatto	Approvato
Dott. Valentina Negri Dott. Angelo Ricciato Dott. Geol. Alessandro Criscenti	Dott. Geol. Raffaele Di Cuia

1 INTRODUZIONE

Il proposito del presente elaborato è quello di fornire un quadro esaustivo dell'attività proposta, con livello tecnico di approfondimento sufficiente ad indicare i parametri dimensionali e strutturali del progetto, completi di cartografia tematica di descrizione del sito e dell'area circostante.

Il progetto si riferisce all'attività di acquisizione di dati geofisici a mare, all'interno dell'area in istanza di permesso di ricerca per idrocarburi denominato "d 361 C.R-.TU". I rilievi geofisici rappresentano uno strumento fondamentale per esplorare le caratteristiche geologiche e le risorse del sottosuolo.

L'attività proposta ha carattere temporaneo e non prevede in alcun modo la realizzazione di opere permanenti in mare o a terra. Una volta terminata l'attività di indagine geofisica, tutte le apparecchiature utilizzate saranno issate a bordo e sul posto non verrà lasciato alcun tipo di strumentazione.

1.1 Impostazione dell'elaborato di progetto

Il presente elaborato, relativo all'istanza di permesso di ricerca a mare "d 361 C.R-.TU", è stato redatto ai sensi del D.Lgs. del 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" e successive modifiche ed integrazioni.

L'elaborato descrive nel dettaglio l'attività proposta, le caratteristiche fisiche dell'insieme del progetto e le esigenze di utilizzazione dello specchio d'acqua, prendendo in considerazione anche il tipo e la quantità dei residui e delle emissioni previsti.

1.2 Descrizione del Committente

La *Transunion Petroleum Italia S.r.l. (TUPI)* ha sede legale a Roma ed è una compagnia interamente controllata dalla Cairn Energy PLC (CAIRN). *Cairn* è una società indipendente, tra i maggiori leader in Europa, che opera nel settore petrolifero in ambito di esplorazione e sviluppo, quotata nella Borsa di Londra. Cairn ha sede a Edimburgo, in Scozia, sostenuto da sedi operative a Londra, Groenlandia, Norvegia, Spagna e Marocco.

La sua grande esperienza svolta in varie sedi, ha permesso di scoprire e sviluppare riserve di petrolio e gas in diverse parti del mondo. La società ha storicamente concentrato le sue attività sulle regioni meridionali dell'Asia, dove ha operato per più di 20 anni. Durante questo periodo ha scoperto, sviluppato e prodotto olio e gas sia *off-shore* che *on-shore* in Bangladesh e in India, effettuando più di 40 importanti scoperte. In particolare, Cairn ha realizzato un'importante scoperta di petrolio in Rajasthan nel nord-ovest dell'India, all'inizio del 2004, in cui oltre 25 scoperte da allora sono state fatte con il potenziale di fornire più del 30% della produzione di greggio in India. Oggi, Cairn continua a detenere una partecipazione del 10% in *Cairn India Limited*.

Le operazioni commerciali di *Cairn* sono ora principalmente concentrate in tre aree geografiche:

- Europa nord-occidentale tra il Mare del Nord;
- coesplorazione di frontiera che include il margine settentrionale della Groenlandia;
- Mediterraneo nel Nord Africa.

2 QUADRO PROGETTUALE

2.1 Ubicazione dell'area d'intervento

L'attività proposta, relativa alla fase operativa di ricerca del programma lavori, rientra all'interno del procedimento unico di conferimento del permesso di ricerca "d 361 C.R-.TU", per il quale è stata presentata un'istanza al Ministero dello Sviluppo Economico in data 31 luglio 2009 e successivamente pubblicata sul Bollettino Ufficiale degli Idrocarburi e della Geotermia (BUIG), Anno LIII n. 8, del 31 agosto 2009.

L'area in istanza, situata nel Canale di Sicilia di fronte alle coste meridionali della Sicilia a sud di Gela nei pressi di Scoglitti (RG), ricade per 384,50 km^2 nella zona marina C e per 112,50 km^2 nella zona marina G comprendo un'area complessiva di 497,00 km^2. Il bordo nord-orientale dell'area in istanza si trova ad oltre cinque miglia nautiche dalla costa. La profondità dell'acqua in questo punto varia da circa 66 m ad oltre 800 m nella zona sud-occidentale dell'area (Figura 2.1).

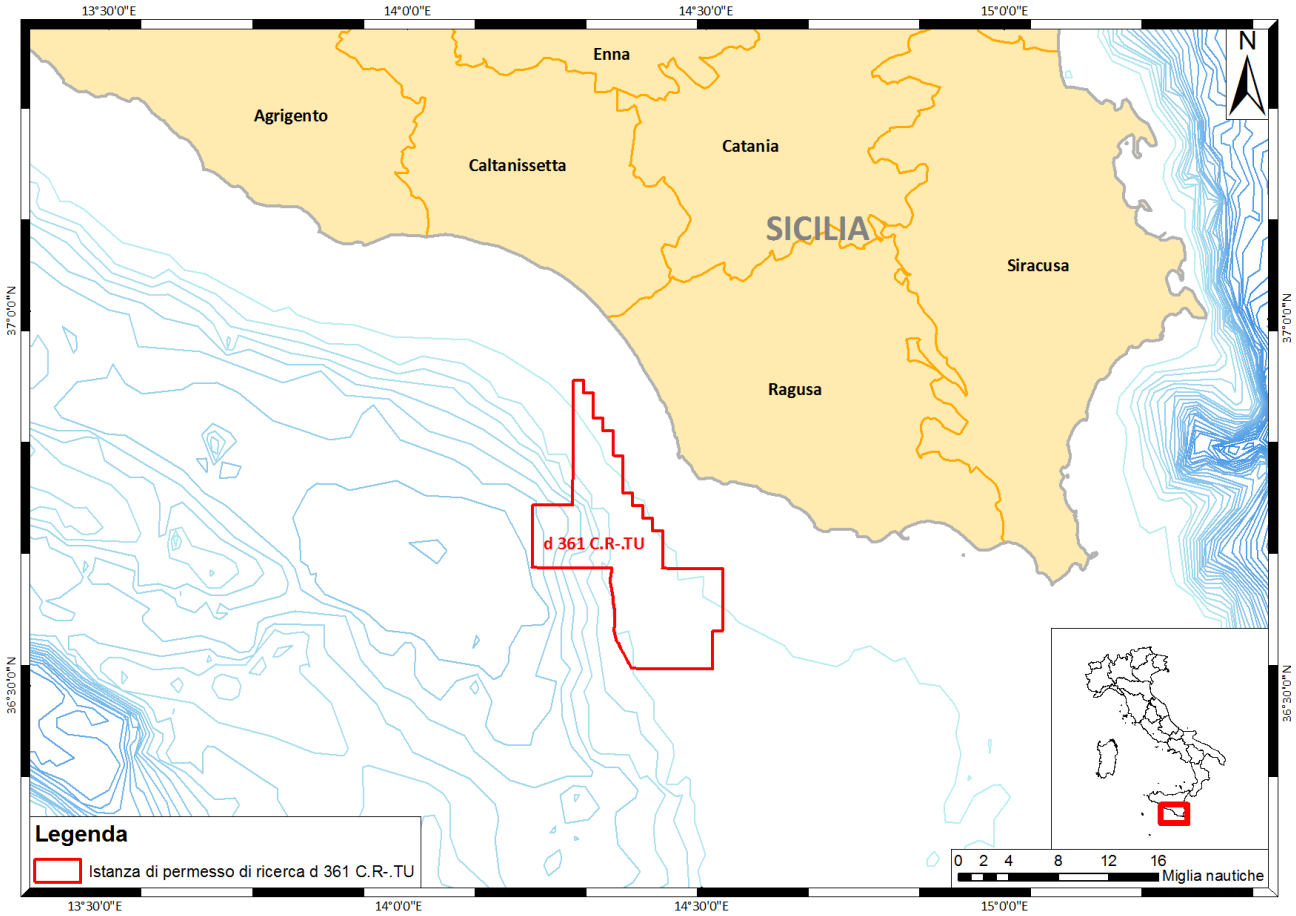


Figura 2.1 – Ubicazione con relativo perimetro dell'area in istanza di permesso di ricerca "d 361 C.R-.TU" con indicazioni della batimetria

Le coordinate geografiche dei vertici del blocco in istanza di Figura 2.2 sono elencate nella seguente Tabella 2.1:

VERTICI	LONGITUDINE	LATITUDINE	VERTICI	LONGITUDINE	LATITUDINE
a	14°17'	36°55'	s	14°25'	36°43'
b	14°18'	36°55'	t	14°26'	36°43'
c	14°18'	36°54'	u	14°26'	36°40'
d	14°19'	36°54'	v	14°32'	36°40'
e	14°19'	36°52'	z	14°32'	36°35'

f	14°20’	36°52’	**a’**	14°31’	36°35’
g	14°20’	36°51’	**b’**	14°31’	36°32’
h	14°21’	36°51’	**c’**	Intersezione tra linea “Zona C” e parallelo 36°32’	
i	14°21’	36°49’			
l	14°22’	36°49’	**d’**	Intersezione tra linea “Zona C” e linea “Zona G”	
m	14°22’	36°46’			
n	14°23’	36°46’	**e’**	Intersezione tra linea “Zona C” e parallelo 36°40’	
o	14°23’	36°45’			
p	14°24’	36°45’	**f’**	14°13’	36°40’
q	14°24’	36°44’	**g’**	14°13’	36°45’
r	14°25’	36°44’	**h’**	14°17’	36°45’

Tabella 2.1 – Coordinate geografiche dei vertici dell’area in istanza “d 361 C.R-.TU”

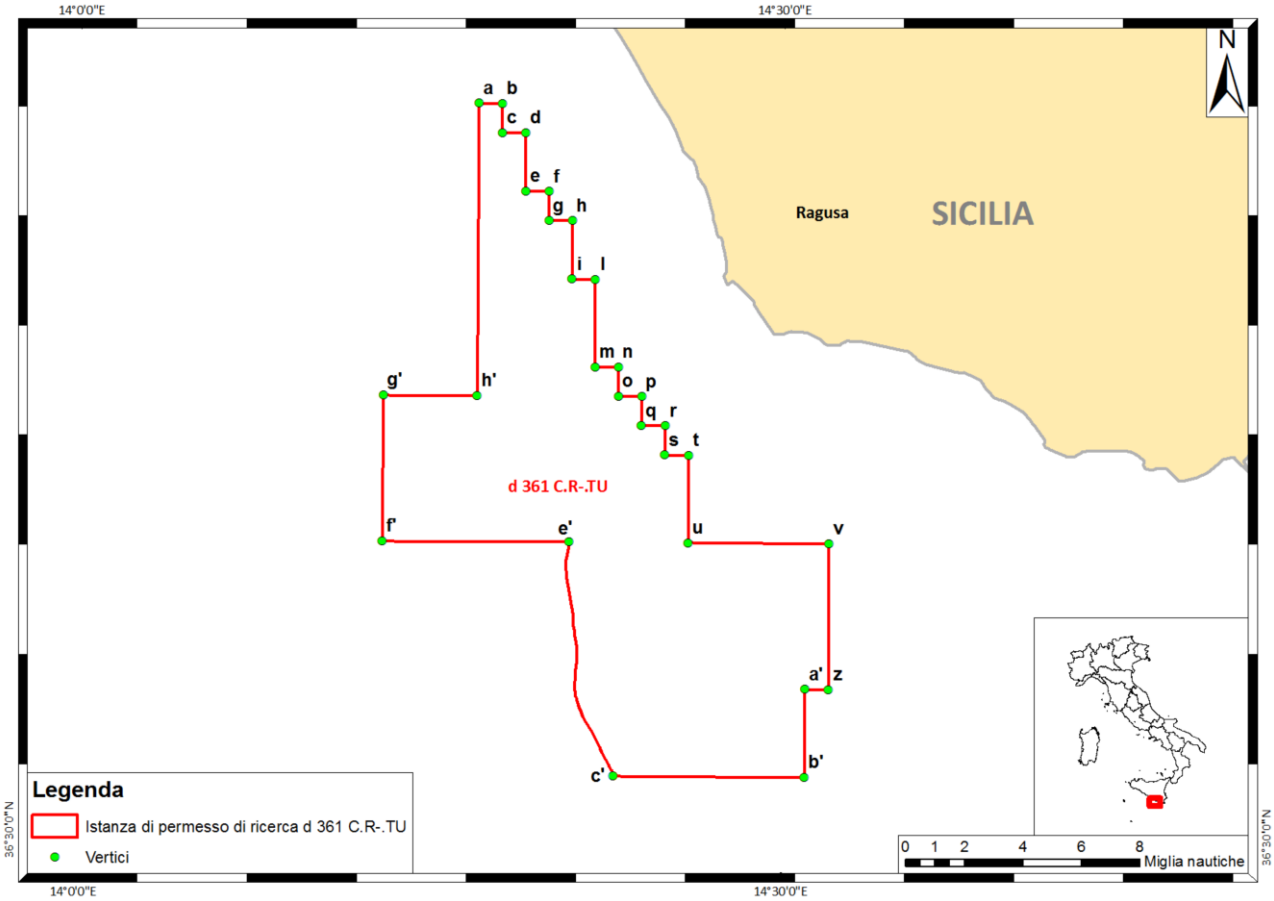


Figura 2.2 – Ubicazione dell’area in istanza a mare denominata “d 361 C.R-.TU” con indicazione dei vertici elencati in tabella

2.2 Finalità dell’intervento

L’indagine geofisica di rilievo sismico 2D in previsione mira a ridefinire le principali caratteristiche, tra cui estensione e natura, delle strutture geologiche sommerse presenti nella zona del canale di Sicilia oggetto dell’istanza. Gli scopi scientifici principali di questa indagine sono quelli di estendere e completare la copertura sismica già esistente, di rivalutare l’estensione del bacino sedimentario, l'ubicazione della “roccia madre” degli idrocarburi, nonché la direzione e l’estensione massima di migrazione degli stessi, attraverso l’analisi dei dati che verranno ricavati utilizzando le più moderne tecnologie. L’analisi dei dati di pozzo presenti nell’area di interesse potrebbero, inoltre, fornire un ulteriore controllo geologico-strutturale dei dati che verranno acquisiti.

2.3 Programma lavori

L'attività di studio proposta ha l'obiettivo di valutare e stimare l'eventuale presenza di accumuli significativi di idrocarburi il cui sfruttamento sia economicamente vantaggioso. A tal proposito la studio si compone di diverse fasi ognuna propedeutica e strettamente interconnessa alle successive. Alla precedente fase di studio della letteratura geologica e delle conoscenze dell'area acquisite, subentra la presente fase del progetto che mira esclusivamente all'esecuzione di una campagna esplorativa, attraverso l'acquisizione di dati sismici e la loro successiva interpretazione ed integrazione coi dati già in disponibili.

2.3.1 Fase operativa di ricerca

La fase operativa di ricerca consiste nel reperire più informazioni possibili sia di carattere meramente scientifico (attingendo alla letteratura e agli articoli relativi) che applicativo (studi geofisici, perforazioni…) sull'area di interesse ai fini di migliorare le conoscenze sull'assetto geologico dell'area di studio. L'obiettivo finale è volto ad individuare potenziali accumuli di idrocarburi il cui sfruttamento possa essere economicamente sfruttabile. La fase di ricerca, a sua volta, si articola su diversi passi essenziali:

- Studio geologico e geofisico: partirà dallo studio di inquadramento geologico a livello regionale per dettagliare via-via lo studio alla scala opportuna di bacino; le conoscenze già in possesso verranno arricchite da studi bibliografici pregressi disponibili. Un altro *step* consisterà nel reperimento e nell'interpretazione di dati di sottosuolo pubblici come sezioni sismiche e perforazioni, trattati secondo le più recenti tecniche e apparecchiature; in particolare verranno eseguite correlazioni con possibili manifestazioni di idrocarburi in mare utilizzando varie tecnologie basate sull'interpretazione dei dati satellitari.
- Rielaborazione ed interpretazione di linee sismiche 2D pre-esistenti - Per migliorare le conoscenze del sottosuolo in particolare per quanto riguarda la situazione geologico-strutturale dell'area e per poter identificare più precisamente i criteri e le caratteristiche con cui acquisire il rilievo sismico 2D, che rappresenta l'eventuale fase successiva del programma lavori, Transunion Petroluem Italia S.r.L. si impegna a rielaborare secondo le tecnologie più all'avanguardia nel settore i dati sismici dell'area interessata il cui valore totale è soggetto alla qualità dei dati a disposizione.
- Acquisizione, elaborazione ed interpretazione di nuovi dati sismici 2D – L'ultimo passaggio della fase di ricerca consisterà nell'accertarsi adeguatamente dell'eventuale presenza di accumuli di idrocarburi liquidi o gassosi nei livelli mineralizzati descritti nella relazione tecnica, e per definire al migliore l'ubicazione del pozzo esplorativo, Transunion Petroluem Italia S.r.L. si impegna ad acquisire ed elaborare un totale di circa 100 km di linee sismiche 2D.

2.3.2 Fase operativa di perforazione

Una volta condotti e portati a termine gli studi in modo da definire un quadro completo delle conoscenze geologiche sull'area di interesse, solo nel caso in cui da essi dovesse emergere la possibilità di individuazione del sistema roccia serbatoio, roccia di copertura e trappole, si renderà necessaria una verifica delle condizioni reali delle potenzialità minerarie del sito. La verifica delle suddette condizioni potrà avvenire solo attraverso la realizzazione di un pozzo esplorativo opportunamente posizionato all'interno dell'area in oggetto, la cui profondità e ubicazione finali sono strettamente connesse alle caratteristiche stratigrafico-strutturali emerse dagli studi precedenti. Tuttavia, allo stadio attuale degli studi, delle conoscenze del sottosuolo acquisite e alla luce di analoghe situazioni geologiche riscontrate, si può fornire una stima della profondità massima che si intende raggiungere con la perforazione del pozzo esplorativo attestarsi preliminarmente attorno ai 2700 m, in corrispondenza dei carbonati della Formazione Inici.

Questa eventuale fase operativa sarà sottoposta ad una nuova procedura di valutazione di impatto ambientale nonché specifica autorizzazione da parte dell'ufficio territoriale competente del Ministero.

2.4 Descrizione dell'attività in progetto

2.4.1 Indagine geofisica: generalità

I metodi di indagine basati sull'acquisizione sismica, cioè con fonti energetiche indotte dall'uomo, sono i più impiegati nel campo della prospezione geofisica finalizzata alla ricerca d'idrocarburi. Il motivo dell'utilizzo risiede, sia nel loro limitato impatto sull'ambiente, sia nella loro estrema affidabilità e nell'elevato grado di precisione raggiunto. L'elevato livello di dettaglio richiesto è finalizzato ad evidenziare le minime caratteristiche strutturali e stratigrafiche alla scala della serie stratigrafica investigata, senza per questo venire necessariamente mai a contatto diretto con il terreno. I metodi sismici si basano sui fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde elastiche generate da una sorgente artificiale di onde, la cui velocità di propagazione è funzione del tipo di roccia attraversata; tali metodi sono governati da apposite leggi della fisica della propagazione delle onde elastiche (assimilabili alla propagazione delle onde ottiche pur entro certi limiti).

Una sorgente artificiale di onde sismiche di pressione (onde P = Primarie) o di taglio (onde S = Secondarie) dà origine ad un'onda che, impattando una superficie di discontinuità data ad esempio dalla separazione fra strati elasticamente diversi (cioè a diversa impedenza acustica) e con un dato angolo di incidenza, può:

- riflettersi totalmente verso l'alto (conservando tutta l'energia di partenza);
- in parte penetrare nel mezzo sottostante, rifrangendosi;
- in parte riflettersi verso l'alto.

In base al fine da raggiungere (profondità d'indagine, grado precisione, risoluzione, logistica, etc…) si prenderà in esame il tipo di onde da analizzare e quindi i metodi da adoperare di sismica a riflessione o a rifrazione. Essi differiranno anche nella disposizione dei ricevitori in superficie rispetto alla sorgente di emissione dell'energia sismica. Esistono molte tipologie di sorgenti artificiali, legate all'ubicazione dell'indagine, alla situazione ambientale circostante, agli obiettivi della ricerca ed alla logistica.

Per le attività di prospezione geofisica in mare, la scelta della sorgente di energia sismica è fondamentale poiché si deve tener conto che le onde elastiche, prima di penetrare nel fondale marino, devono attraversare una colonna d'acqua di altezza variabile più o meno consistente. I dispositivi utilizzati, infatti, danno luogo ad impulsi di pressione che devono fornire una quantità di energia sufficiente a conservarsi dopo l'attraversamento della colonna d'acqua. Tali mezzi producono l'energia richiesta mediante una camera di compressione o combustione o di altro tipo; la quantità di energia fornita è limitata dalle dimensioni meccaniche delle apparecchiature utilizzate.

I metodi di prospezione geofisica hanno sviluppato nel tempo molteplici tipologie di sorgenti di energia utilizzate:

- a vapore;
- ad acqua;
- ad esplosivo;
- elettrica;
- ad aria compressa.

Tutte queste tecniche sono accomunate dall'invio di un impulso di pressione che, seppur di natura differente a seconda della sorgente, genera in acqua un'onda acustica sferica che si propaga dalla superficie del mare verso il fondale. Tra queste diverse sorgenti di energia, il metodo in assoluto più impiegato è l'*airgun*: un dispositivo ad aria compressa utilizzato in quasi tutti i rilievi sismici marini. Il perché del grande impiego dell'*airgun* risiede nei seguenti motivi: la quasi totalità dell'energia generata è compresa nella banda delle frequenze sismiche; l'assoluta affidabilità e versatilità nella scelta del segnale generato; gli elevati parametri di sicurezza, non prevedendo l'utilizzo di miscele esplosive.

L'indagine sismica a riflessione, fin dalle sue prime applicazioni dei primi decenni del '900, è stata ed è tuttora comunemente utilizzata per la ricerca di idrocarburi. Messa a confronto coi diversi metodi geofisici disponibili, è particolarmente adatta a fornire un'immagine del sottosuolo maggiormente dettagliata, attendibile e, non ultima, minimamente impattante nell'ambiente circostante.

Gli altri metodi geofisici vengono, eventualmente, utilizzati a complemento ed integrazione della sismica a riflessione, generalmente per tararla laddove esistano pochi o nessun sondaggio, poiché forniscono ulteriori indicazioni su determinate rocce o corpi rocciosi caratterizzati da marcate proprietà fisiche.

Le metodologie complementari utilizzate più frequentemente sono:

- la gravimetria;
- la magnetometria;
- la magnetotellurica, (data la crescente attendibilità legata a programmi di elaborazione sempre più sofisticati e precisi);
- la radiometria.

Questi metodi, tutti appartenenti alla geofisica passiva, registrano rispettivamente le variazioni del campo gravitazionale della Terra e i campi magnetici naturali che si propagano all'interno della stessa.

Tra i metodi geofisici attivi, oltre alla sismica a rifrazione e riflessione, si annovera anche il metodo geoelettrico.

In generale si possono assumere le prospezioni geofisiche come metodologie di indagine fondamentali per le ricerche geologiche, eco-compatibili e, per questo, molto diffuse in tutto il mondo ed adatte ad ogni tipo di ambiente naturale. Gli impatti sull'ambiente, caratteristici di questi tipi di rilievo, sono piuttosto limitate (Figura 2.3) sia nello spazio che nel tempo rivestendo carattere di temporaneità e utilizzo soltanto degli spazi relativi alla prospezione e la rete viaria esistente. Una volta terminate le attività, le operazioni di ripristino consistono in genere nel ritiro delle attrezzature utilizzate e nella stima eventuale e rimborso dei danni arrecati.

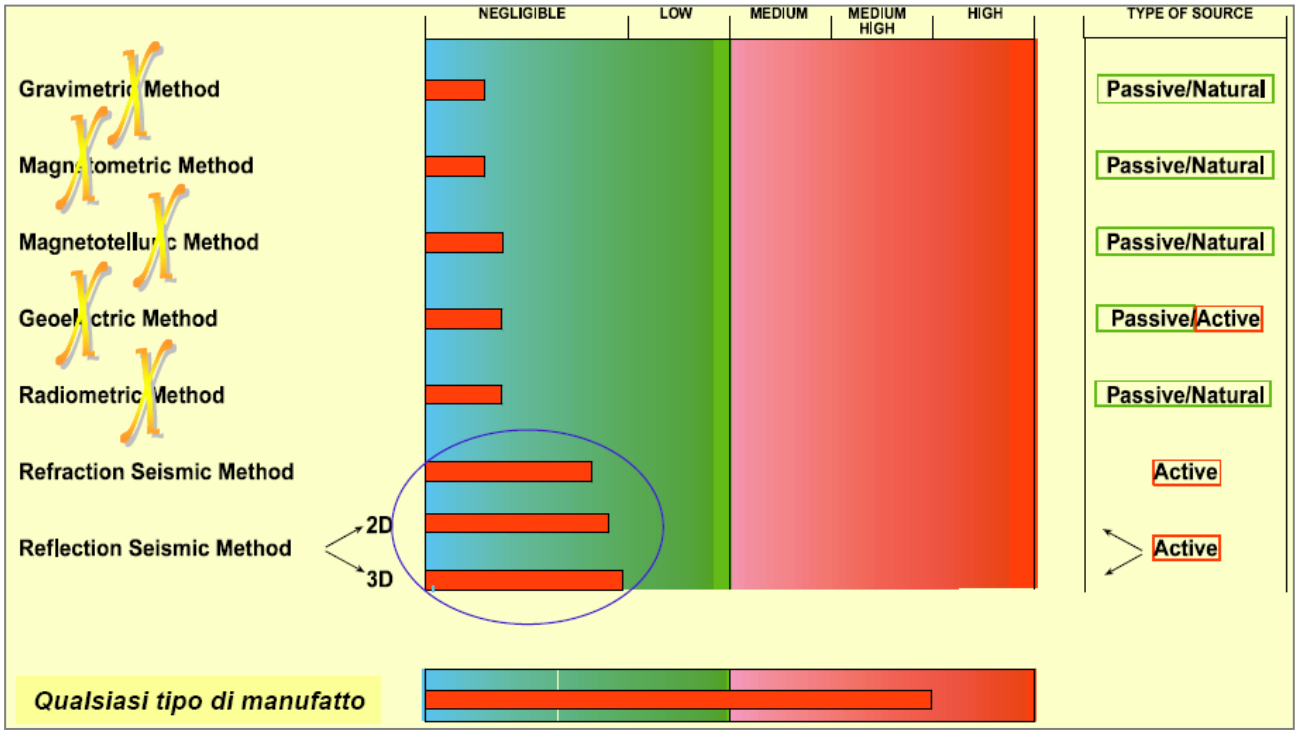


Figura 2.3 – Confronto tra le gli impatti generati sull'ambiente dalle differenti tipologie di indagine sismica disponibili (fonte: convegno nazionale Assomineraria, 2003)

2.4.2 Sorgenti di propagazione di energia

Il risultato prodotto da una qualsivoglia sorgente di energia sismica utilizzata per le prospezioni è un'onda elastica in grado di penetrare il mezzo roccioso estremamente disomogeneo. Le discontinuità presenti tendono a modificare inevitabilmente struttura, percorso e velocità dell'onda originaria. Le principali discontinuità riscontrabili nel sottosuolo possono avere natura diversa:

- litologica (diversa densità, durezza, etc.);

- geometrica (spessori della successione, giacitura degli strati, etc.);
- strutturale (discontinuità strutturali come faglie, pieghe, fratture, etc.);
- sedimentologico (porosità, permeabilità, compattazione, etc.);
- deposizionale (facies differenti, etc.);
- etc.

La registrazione, l'acquisizione e la digitalizzazione dell'onda di ritorno in superficie forniscono un'immagine indiretta più o meno chiara dell'inaccessibile sottosuolo. Le successive operazioni di elaborazione, esame e interpretazione degli elaborati risultanti, permettono di compiere un'indagine indiretta sulla natura, geometria e profondità degli orizzonti e delle strutture attraversati. Un enorme vantaggio di tali applicazioni è senza dubbio il fatto che queste analisi possono spingersi anche a grande distanza dalla superficie, in funzione della strumentazione e della conformazione del sottosuolo.

Dal punto di vista geometrico, considerando le opportune differenze e limitazioni, i fenomeni sismici sono governati dai medesimi principi fisici di quelli ottici; pertanto, ad essi sono applicabili le leggi dell'ottica geometrica in merito ai fenomeni di riflessione e rifrazione attraverso cui l'onda modifica la sua traiettoria. Le modalità e le caratteristiche salienti di propagazione, rifrazione e riflessione delle onde elastiche verranno di seguito brevemente richiamate.

2.4.3 Generazione dei segnali sismici

Sismica a riflessione

Il metodo geofisico di sismica a riflessione consiste, in generale, nell'indurre un'energia idoneamente calibrata verso il semispazio inaccessibile costituito dal sottosuolo. L'energia fornita dovrà essere capace di raggiungere un'opportuna profondità e di tornare nuovamente in superficie dove saranno captati i gruppi di onde riflessi dalle varie superfici di discontinuità ivi presenti. La ricezione in superficie avverrà tramite appositi sensori noti con il nome di geofoni (se posti in terra) o idrofoni (se in mare). Si tratta di trasduttori meccano-elettrici in grado di trasformare l'impulso ricevuto e trasformarlo in segnale digitale registrando il tempo necessario all'onda elastica indotta artificialmente per tornare in superficie. La successiva elaborazione di queste registrazioni consente di ricostruire un'immagine del sottosuolo e di interpretare le principali strutture presenti fino a profondità di alcuni chilometri in funzione del tempo di registrazione e dell'energia indotta (Figura 2.4).

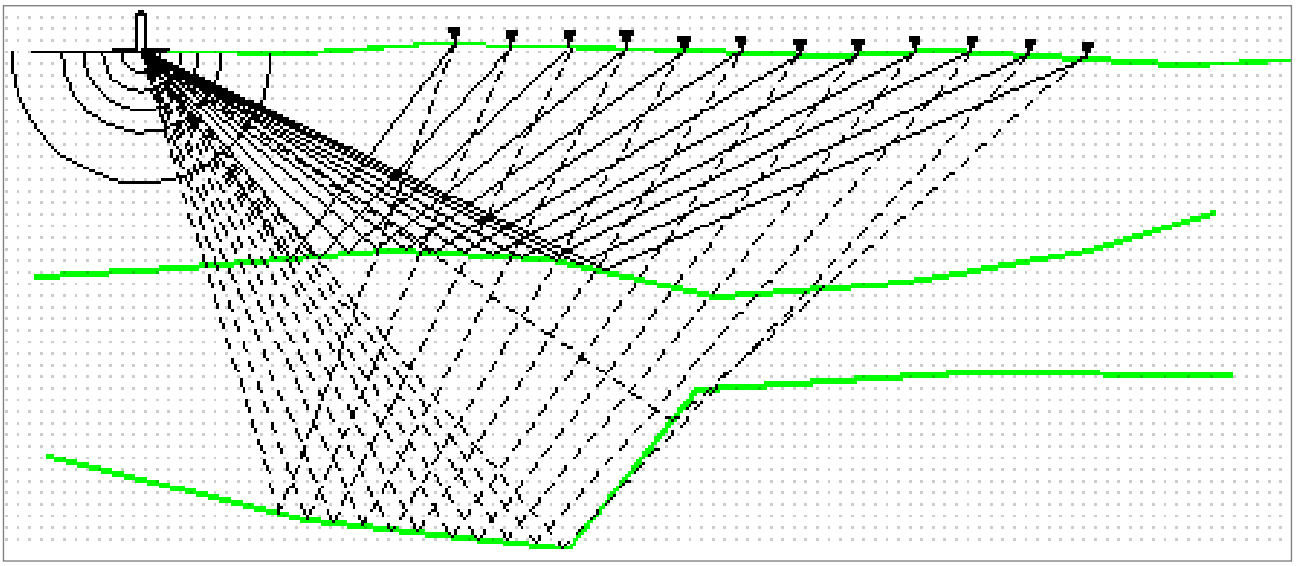


Figura 2.4 – Concetti base di sismica a riflessione con i percorsi delle onde captate dai ricevitori (fonte: www.retegeofisica.it)

Per esplicitare brevemente il concetto, si consideri ipoteticamente un profilo di lunghezza L tra la sorgente di energia e l'ultimo geofono/idrofono dello stesura: se opportunamente energizzato, l'impulso coprirà soltanto una lunghezza pari a L/2 su ciascun orizzonte riflettente parallelo alla superficie del suolo. Ciò significa che per ogni profilo sarà necessario disporre di almeno due sorgenti di energia per avere una

copertura completa al 100% degli orizzonti riflettenti. Ogni elemento delle superfici sarà perciò "illuminato" una volta, ma sarà energizzato l'intero profilo di lunghezza *L* (Figura 2.5).

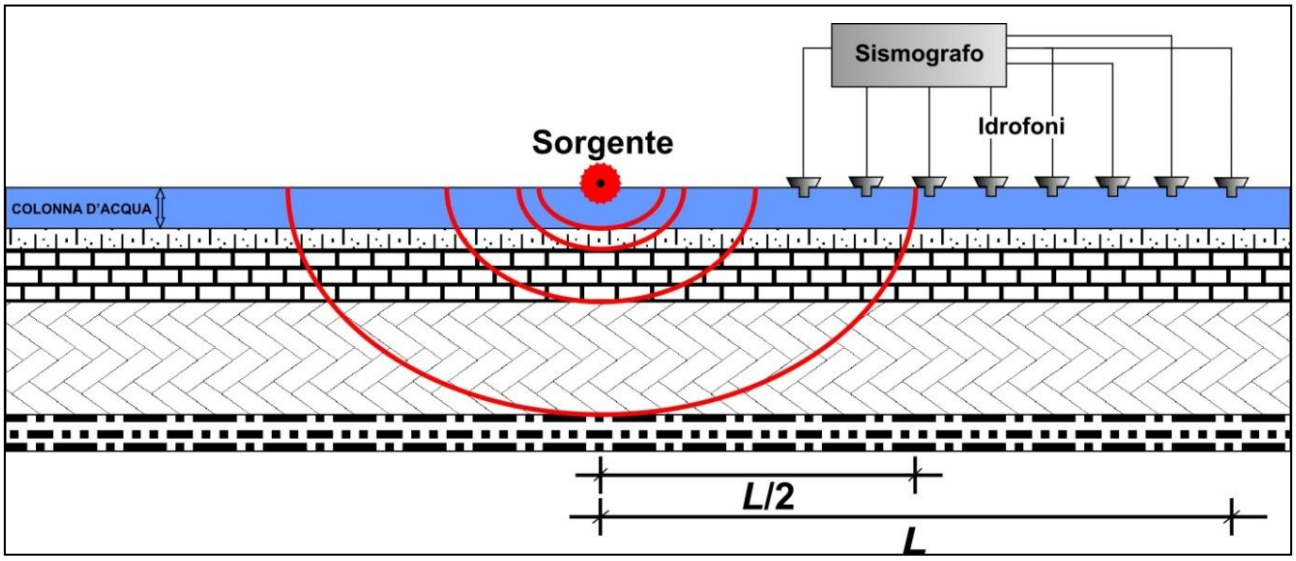


Figura 2.5 - Schema esemplificativo di uno stendimento sismico in mare energizzato da una fonte distante L dall'ultimo idrofono

Questo rappresenta uno dei vantaggi della "copertura multipla". Le tracce appartenenti al singolo sismogramma acquisito in campagna avranno la sorgente in comune e quindi il rispettivo "*file*" che le raccoglierà tutte, è definito *common shot gather*. Invece, il *common receiver gather* sarà l'insieme di tutte le tracce che hanno in comune la posizione del geofono, cioè tracce acquisite sullo stesso geofono al variare della sorgente di energia. Per conoscenza, il *common offset gather* è l'insieme delle tracce di uguale distanza sorgente-geofono e infine il *common midpoint gather* (CMP) è l'insieme di tutte le tracce che hanno sorgente e geofono simmetrici rispetto ad un punto tra loro. Quest'ultimo è il più significativo di tutti poiché per i riflettori piano-paralleli alla superficie topografica, l'insieme di tutte queste tracce porta con sé la stessa informazione, in quanto provengono dall'elemento riflettente sito sulla verticale del punto di mezzo: tale fatto è definito come *common depth-point gather* (CDP). La qualità dei dati ottenuti, dipende non solo dall'elaborazione successiva, ma anche da una serie di parametri di acquisizione scelti preliminarmente ad hoc. A tal proposito si ricorda il *walkaway*, una procedura assai importante nella fase di acquisizione: essa viene affidata a tecnici esperti con il compito di saggiare le caratteristiche dei terreni e scegliere le migliori geometrie e parametri di acquisizione, effettuando una acquisizione sismica preliminare. I parametri di acquisizione da definire si possono riassumere come segue:

- lunghezza della registrazione, ossia il tempo di ascolto del sismografo, sufficiente ad esaurire la ricezione di ogni informazione di interesse;
- passo di campionamento, cioè il tempo di acquisizione di un singolo valore la cui sequenza costituisce la forma d'onda; non deve essere superiore alla metà del periodo della più alta frequenza contenuta nel segnale;
- distanza fra sorgente e geofono più lontano, che determina la profondità esplorata per la quale è ancora possibile una buona analisi delle velocità;
- distanza fra sorgente e geofono più vicino, la quale non deve essere troppo grande in modo da consentire una buona valutazione degli spessori e delle velocità del primo strato aerato;
- distanza tra i geofoni, dipende dai parametri precedenti e dal numero di canali disponibili sul sismografo. Quanto più breve è, tanto maggiore è la risoluzione superficiale. La simultaneità di una buona risoluzione superficiale e di una buona penetrazione in profondità, è proporzionale al numero di canali disponibile;
- filtri analogici, la miglior scelta dei filtri consente l'eliminazione dei rumori e il miglior sfruttamento della dinamica del sismografo. In particolare questo vale per la scelta del filtro passa alto.

La fase successiva di elaborazione dei dati acquisiti coinvolge aspetti come procedure matematiche, analisi delle velocità e varie correzioni, sviluppati con l'ausilio di software dedicati di alto livello. Al termine delle varie fasi, si otterrà un dato "pulito" da ogni rumore di fondo o eventuali caratteristiche del terreno che disturbano il segnale in fase di acquisizione (Figura 2.6).

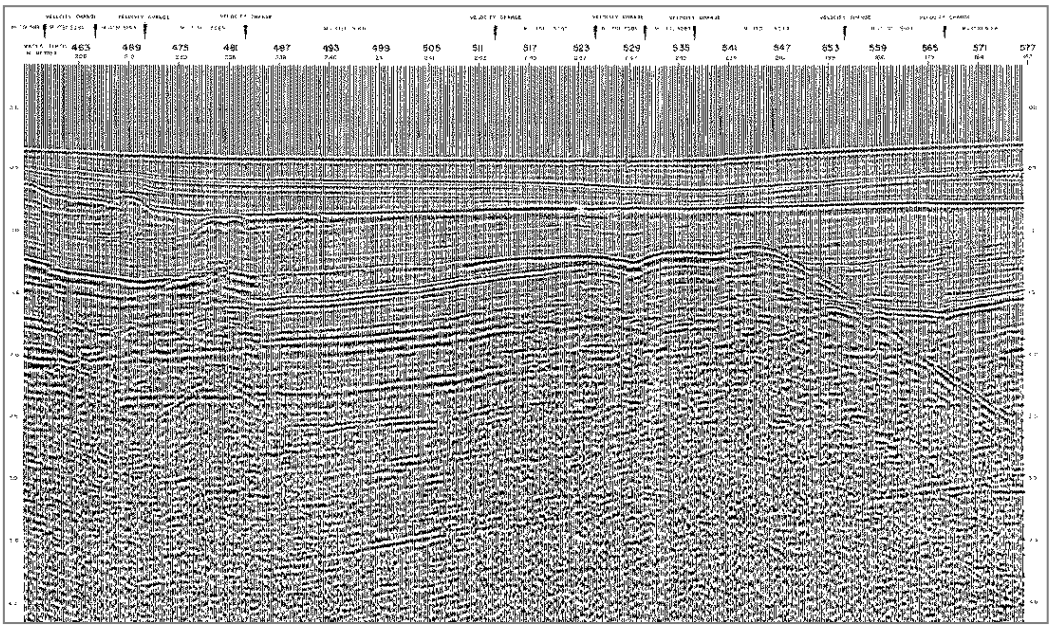


Figura 2.6 - Esempio di sezione sismica non interpretata risultante da coperture multiple

2.5 Descrizione delle tecnologie adottate nella ricerca sismica *offshore*

Di seguito verranno mostrate dettagliatamente le principali tecniche di indagine in mare che verranno utilizzate per l'esecuzione della campagna di prospezione nell'area oggetto di interesse. Sebbene esistano diversi tipi di acquisizione ed esecuzione dei rilievi sismici (2D o 3D), in questa sede sarà trattata la sola progettazione della tecnica 2D. È facile intuire come le tecniche e le tecnologie impiegate nella ricerca sismica in mare differiscano dai rilievi eseguiti in terra nonostante i principi fisici rimangano i medesimi. Queste differenze si ripercuoteranno anche e non in minor misura sull'organizzazione logistica. L'immagine che segue, Figura 2.7, mostra un tipico esempio di stendimento per l'acquisizione sismica offshore con una panoramica sui mezzi e attrezzature utilizzate.

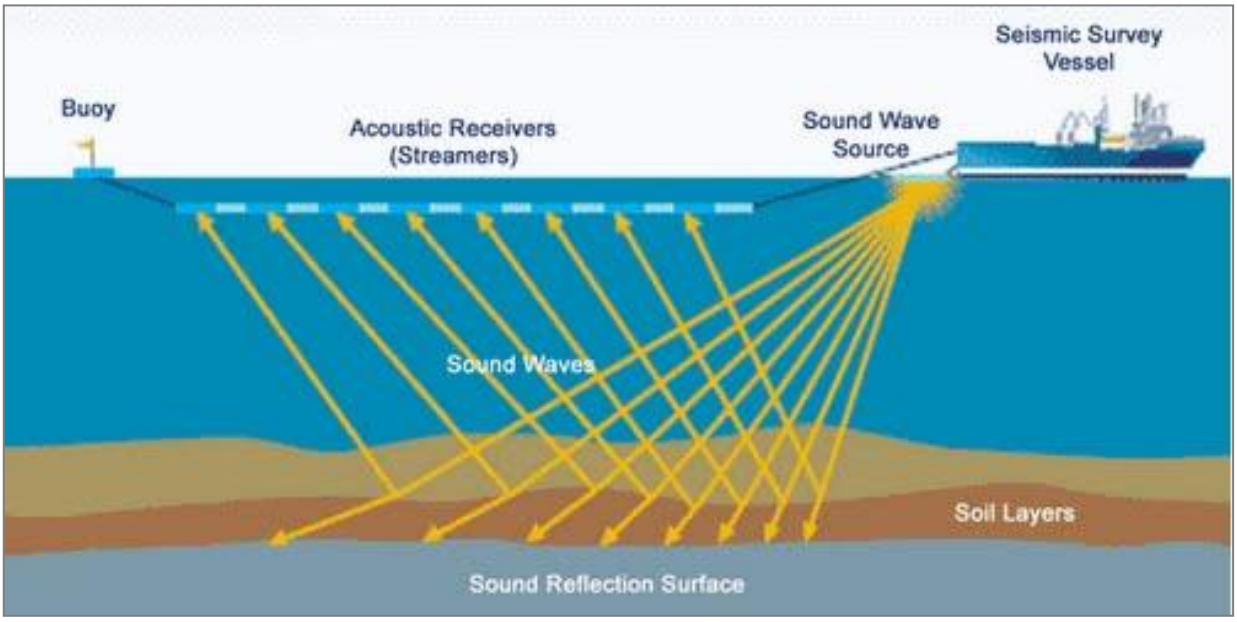


Figura 2.7 - Esempio di stendimento e linea di acquisizione sismica in mare (fonte: AAPG)

2.5.1 Sorgente di energizzazione: l'*air-gun*

Come precedentemente accennato, tra i molteplici tipi di sorgente disponibili, nel campo delle prospezioni sismiche in mare viene quasi esclusivamente usato l'*air gun* (Figura 2.8). L'*air gun* consiste in una sorgente pneumatica di onde acustiche a bassa frequenza che libera bolle d'aria compressa in acqua. La strumentazione è costituita da due camere di pressurizzazione una superiore che viene caricata di aria compressa ed una inferiore di scarico sigillate tra loro da un doppio pistone ad albero. L'*air gun* viene caricato di aria tramite compressori ad esso collegati presenti sulla nave sismica che traina la strumentazione la quale si trova sommersa appena al di sotto della superficie marina. L'aria passa dalla camera superiore a quella inferiore attraverso la sezione cava del pistone; quando l'*air gun* è carico e si raggiunge la pressione desiderata, scelta sia in base all'obiettivo del sondaggio sia per minimizzare il più possibile gli eventuali impatti sull'ambiente marino, viene attivato elettronicamente un solenoide che genera un campo magnetico sufficiente a far sollevare il pistone. Con la risalita del pistone si aprono le valvole d'uscita poste ai lati dell'*air-gun* e l'aria compressa viene espulsa all'esterno.

Il rapido rilascio di aria compressa (con pressioni intorno ai 2000 psi) dalla camera dell'*air gun* produce una bolla d'aria che si propaga nell'acqua. L'espansione e l'oscillazione di questa bolla d'aria generano un impulso con un picco, di grande ampiezza, utile per l'indagine sismica. La principale caratteristica del segnale di pressione di un *air-gun* è il picco iniziale seguito dagli impulsi provocati dalle bolle. L'ampiezza del picco iniziale dipende principalmente dalla pressione prodotta e dal volume dell'*air gun*, mentre il periodo e l'ampiezza dell'impulso della bolla dipendono dal volume e dalla profondità dell'energizzazione.

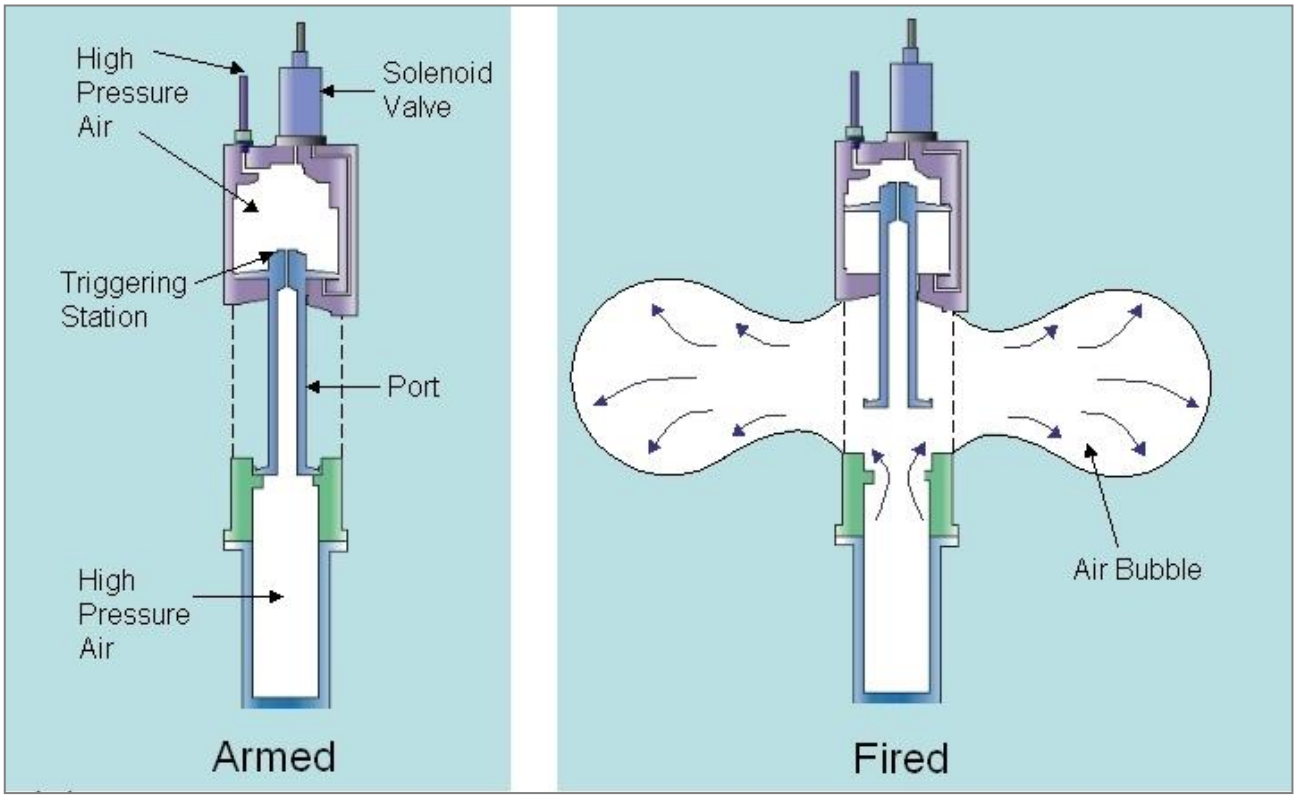


Figura 2.8 - Esempio di caricamento di un *air gun* e rilascio dell'aria compressa verso l'esterno (fonte: www.petroleumgeophysics.com)

Gli *air gun* sono progettati per generare la maggior parte della loro energia sonora a frequenze minori di 180 Hz, l'*air gun* singolo genera una frequenza di 5-200 Hz mentre un gruppo di *air gun* (array) arriva a generare una frequenza di 5-150 Hz. In prossimità di un singolo *air gun* si possono misurare picchi di pressione dell'ordine di 230 dB mentre un array costruito da 30 *air gun* può presentare un livello di picco di sorgente di 255 dB. Le onde che vengono generate hanno un rapido decadimento spaziale, l'energia infatti tende a diminuire con il quadrato della distanza. L'energia generata da una batteria di *air gun* è concentrata

verso il basso, esattamente lungo la verticale della sorgente di energia, pertanto l'onda acustica che si misura esternamente all'asse dell'array risulta sostanzialmente inferiore a quella rilevata lungo la verticale.

Come espresso in precedenza, il livello della sorgente sonora dell'array varia considerevolmente sia nella direzione verticale sia orizzontale a causa della complessa configurazione degli *air gun* che compongono l'array. Questa variabilità deve essere tenuta presente per predire in modo corretto il campo sonoro di un array di *air gun*. Se la traccia dei singoli *air gun* è nota, è possibile calcolare accuratamente il livello della sorgente di un array in qualsiasi direzione sommando il contributo dei singoli elementi con gli appropriati ritardi temporali, a seconda della loro posizione relativa.

2.5.2 Parametri operativi di progetto per l'acquisizione sismica con *air-gun*

Parametri operativi *air gun*

Per quanto concerne I parametrici operativi di progetto relativi alla sorgente *air gun* forniti per le attività in oggetto, vengono di seguito elencati le principali caratteristiche in una apposita tabella (Tabella 2.2).

PARAMETRI OPERATIVI	QUANTITÁ/ORDINE DI GRANDEZZA
Tipo di sorgente	Sercel Sodera G Gun
Source Controller	Seamap Gunlink 2000
Numero di sorgenti	2
Volume di ogni sorgente	4330 cu in
Profondità sorgente (± tolleranza)	7m (± 1m)
Lunghezza dalla fonte	14 m
Numero di Sub-Array per sorgente	3
Separazione Sub-Array	10 m
Utilizzo *Flip/Flop**	Si
Intervallo energizzazione per colpo	18.75 m
Definizione Misfire	± 1.0 mS
Pressione limite sorgente (± tolleranza)	2000 psi (± 10%)

Tabella 2.2 – Valore dei principali parametri operativi di progetto per l'*air gun*

*La tecnologia del *Flip/Flop* consente di selezionare alternativamente camere di pressurizzazione di grandezza diversa (per esempio maggiori di 1,15 l fino a minori di 70 pollici^3); questo consente di fornire energia al sistema alle diverse frequenze in base alle necessità geologiche. L'impiego del *Flip/Flop* si traduce in termini di risparmio energetico e nel minor impatto possibile sull'ambiente in cui esso viene utilizzato.

Configurazione degli *Array*

Qui di seguito vengono fornite le caratteristiche principali di configurazione del posizionamento degli array (sorgenti di energia), denominato modello 4330, utilizzato per la prospezione.

Questa configurazione è costituita da 3 sub-array di 14 metri di lunghezza posizionati a 10 metri di separazione tra loro, secondo uno schema composto da sorgenti individuali di varie dimensioni, che si combinano tra loro generando una sorgente sonora per il rilievo sismico. La sorgente di energia è posta a 7 m di profondità e genererà una pressione di circa 2000 psi. Gli strumenti utilizzati sono del tipo *Sercel Sodera G Gun*. La Figura 2.9 mostra la configurazione degli array secondo il modello 4330. La distanza tra sub-array è di 10 m. In verde sono rappresentati i cluster, elementi sorgente che sono sufficientemente vicini tra loro da agire come sorgente unica, in bianco le sorgenti singole ed in nero le sorgenti di appoggio

nel caso di mal funzionamento. La configurazione, così proposta, ha la finalità di concentrare verso il basso le onde acustiche, le quali penetrano nel sottofondo marino. Le onde si propagano nel terreno e vengono riflesse dalle diverse superfici di discontinuità che incontrano nel sottosuolo, gli idrofoni captano le onde riflesse e registrano i diversi tempi che le onde impiegano a tornare in superficie. L'elaborazione dei dati raccolti avviene direttamente a bordo della nave e consente di ricostruire un'immagine delle principali strutture del sottosuolo.

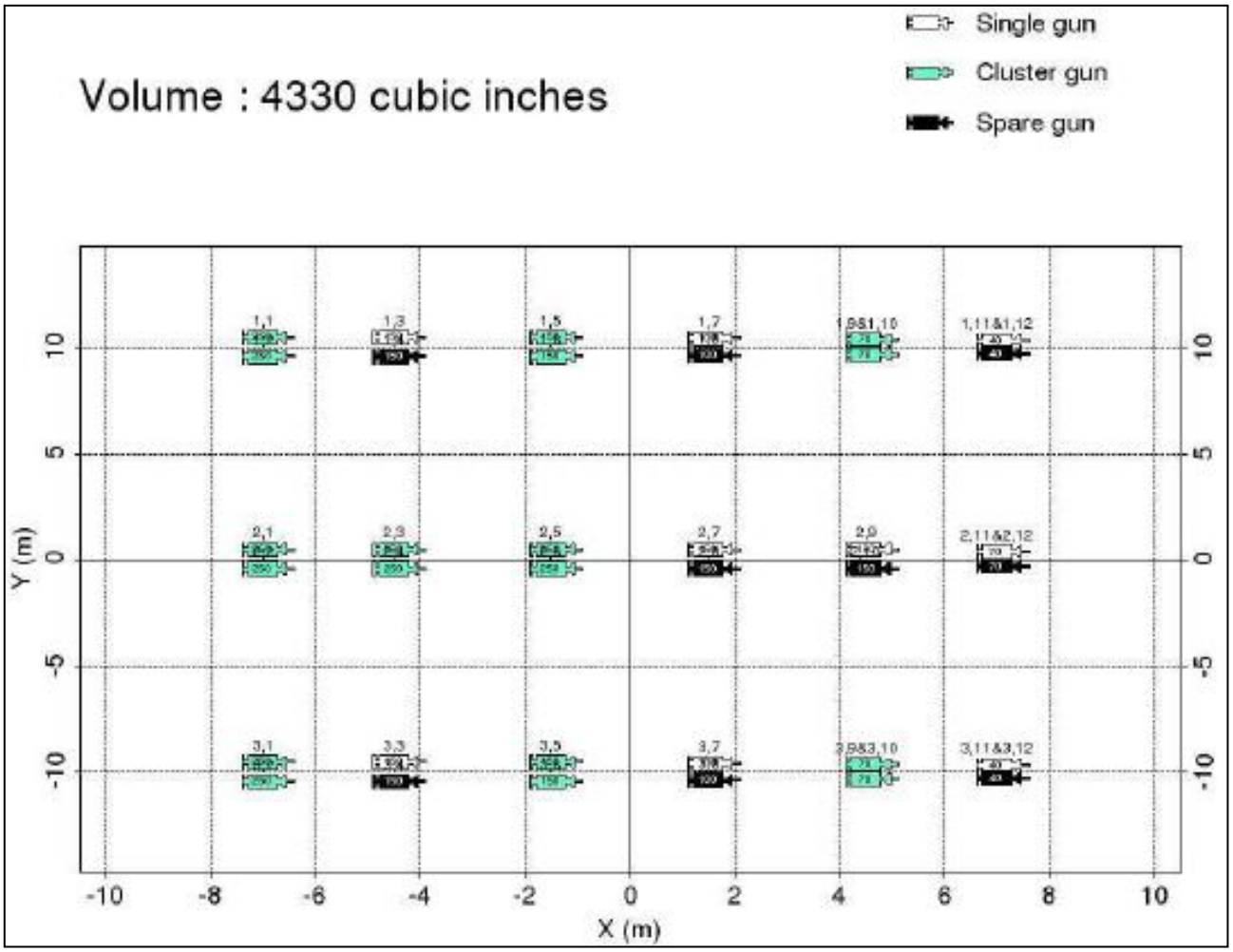


Figura 2.9 – Disposizione spaziale dei singoli elementi che compongono l'array secondo il modello 4330. In verde sono rappresentati i cluster (elementi sorgente che sono sufficientemente vicini tra loro da agire come sorgente unica) in bianco le sorgenti singole ed in nero le sorgenti di appoggio nel caso di mal funzionamento

2.5.3 Tipologia delle attrezzature di registrazione

L'attrezzatura per la registrazione delle onde sismiche si compone di due elementi principali:

- l'idrofono;
- il cavo sismico, detto anche "*streamer*".

L'idrofono (Figura 2.10) è un trasduttore elettroacustico, ossia converte le onde acustiche in segnali elettrici, utilizzato per rilevare le onde sismiche in acqua e determinare la direzione della loro sorgente. Poiché sott'acqua il suono si trasmette ad una velocità di circa 4,5 volte superiore a quella di trasmissione nell'aria e subisce una minore perdita per assorbimento, gli idrofoni, anche grazie allo sviluppo delle moderne tecniche di trasformazione dell'onda sonora in segnale elettronico, consentono di captare anche suoni emessi a grandi distanze. La direzione della sorgente è determinata dallo sfasamento dell'onda sonora tra idrofoni posti a distanza di diversi metri. In genere i sensori hanno forma cilindrica di dimensioni pari a circa 2 cm di lunghezza e 4 mm di diametro. La risposta è lineare, non produce distorsioni armoniche apprezzabili ed ha una frequenza propria molto alta (30.000 Hz). Ogni idrofono è formato da due sensori montati in senso

opposto, allo scopo di sommare gli effetti degli impulsi di pressione prodotti nell'acqua dalla sorgente energizzante e nel frattempo di annullare le accelerazioni di traslazione dovute al traino del cavo sismico. Il secondo sensore presente consente l'eliminazione delle accelerazioni dovute alla traslazione del cavo sismico (*streamer*) nel quale è incorporato.

Figura 2.10 - Esempio di una serie di idrofoni usati nella prospezione sismica in mare (fonte: www.oilonline.com)

Il cavo sismico (o *streamer*) è un cavo galleggiante (Figura 2.11) che ha la duplice funzione di permettere il traino degli idrofoni opportunamente distanziati e di trasmettere i segnali rilevati alle apparecchiature di registrazione posizionate a bordo della nave sismica. A causa delle condizioni meteorologiche e logistiche (vento, correnti marine e azione della marea) il cavo sismico si trova in genere su un tracciato non rettilineo rispetto alla direzione di navigazione. I cavi sismici possono rilevare anche valori molto bassi di energia riflessa che viaggia dalla sorgente sismica attraverso la colonna d'acqua fino al fondo del mare e negli strati sottostanti, tornando in superficie. Gli idrofoni collegati, convertendo i segnali di pressione riflessi in segnali elettrici, consentono di trasmettere i dati attraverso il cavo sismico fino al sistema di registrazione che si trova sulla nave sismica e digitalizzarli su un nastro magnetico. Le principali peculiarità dello *streamer* sono l'elevata sensibilità e robustezza; esso, inoltre, risulta costituito da cinque elementi principali:

- gli idrofoni, di solito distanziati tra di loro di un metro ed elettricamente accoppiati;
- gli apparecchi elettronici che digitalizzano e trasmettono il segnale sismico;
- i mezzi antistress per il cavo, di kevlar o acciaio, per mantenere il giusto sforzo sul cavo anche in condizioni di maltempo, il quale può essere sottoposto a parecchie tonnellate di peso durante il traino;
- un sistema di trasmissione elettrico, per l'alimentazione delle apparecchiature elettroniche del cavo, le periferiche e i dati della telemetria;
- il ricoprimento del cavo sismico ingloba tutti i componenti descritti sopra.

Il cavo sismico ha un diametro di circa 6-8 cm ed è suddiviso in sezioni cosi che ogni 50-100 metri di lunghezza è possibile sostituire gli elementi eventualmente danneggiati. Ogni sezione termina con un connettore di unità che ingloba gli elementi elettronici ed è riempita con un fluido isolante che possiede un determinato peso specifico (inferiore a quello dell'acqua) per permettere il naturale galleggiamento del cavo in mare. La lunghezza del cavo utilizzato dipende dalla profondità e dall'obiettivo d'indagine geofisica. I cavi più utilizzati sono composti da 48 sezioni attive dette anche canali della lunghezza singola di 70 metri, che contengono ognuna da 20 a 32 idrofoni. La profondità di traino del cavo è un compromesso tra il requisito di operare lontano dalla superficie marina e dagli effetti delle condizioni meteorologiche e di quelli del rumore delle onde del mare che limitano l'uso dei dati registrati. Più la profondità di traino è elevata, più il cavo è tranquillo e immune dai rumori prodotti dagli eventi atmosferici e marini, ma sfortunatamente la larghezza

della banda dei dati acquisiti si fa più ristretta. Quindi in ultima analisi è importante in fase di progettazione della prospezione trovare un giusto compromesso tra queste due esigenze. In generale le profondità di traino più comuni si trovano tra 4 e 5 metri per indagini sismiche poco profonde, tra 8 e 10 metri per indagini sismiche profonde.

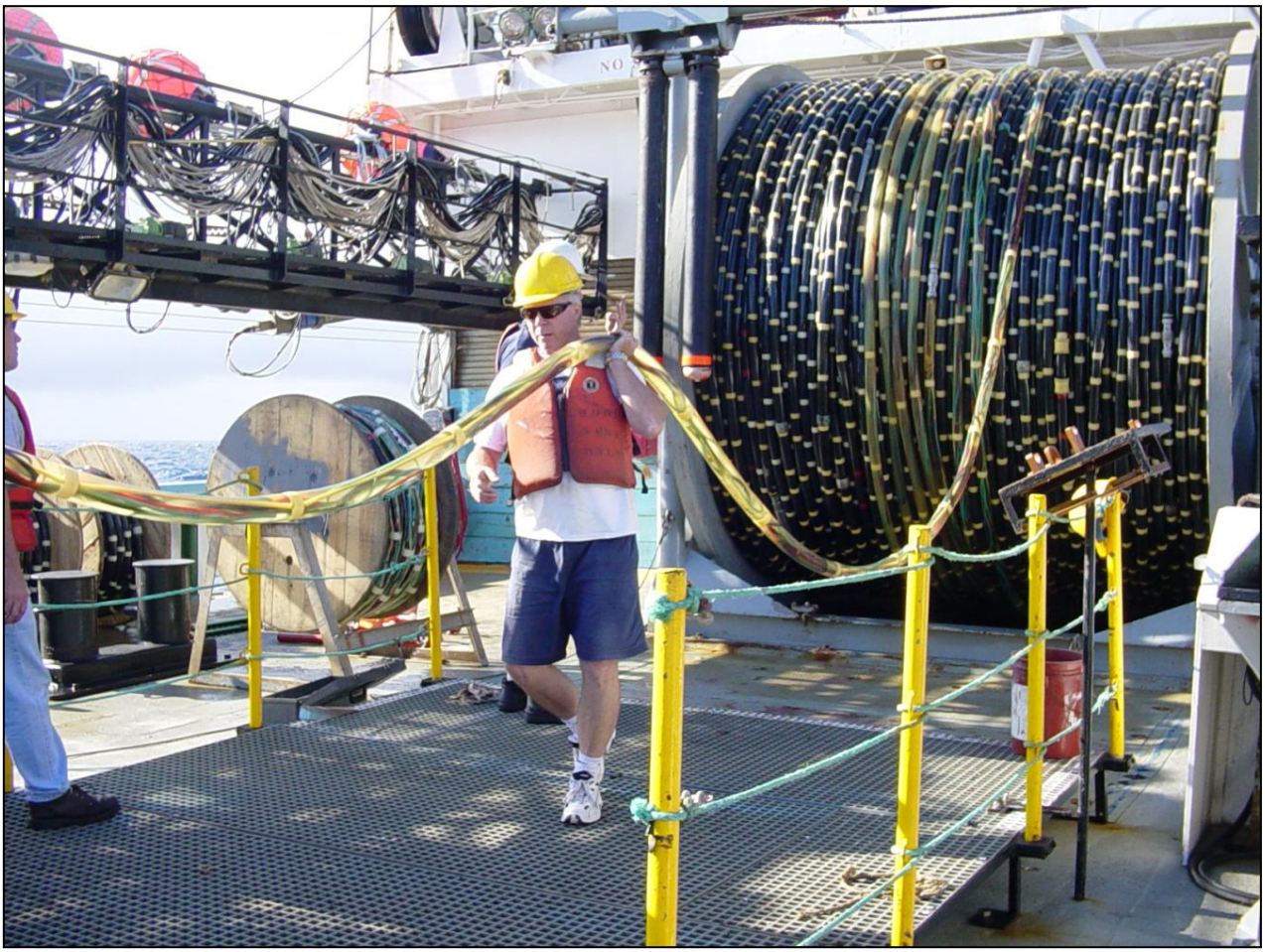


Figura 2.11 - Esempio di cavo per l'acquisizione sismica in mare raccolto in una grande bobina metallica (fonte: www.ig.utexas.edu)

Durante l'acquisizione sismica, il cavo deve essere mantenuto alla stessa profondità e deve essere allineato secondo la direzione di rilevamento stabilita, per favorire la stabilità di posizione del cavo viene utilizzato un galleggiante (boa) e un dispositivo di abbassamento che permette di mantenere la posizione iniziale dello *streamer* ad una determinata profondità di operazione. Una boa di coda (Figura 2.12) viene fissata all'estremità di coda dello *streamer* e al di sopra è fissato un riflettore radar per il controllo dell'allineamento del cavo stesso rispetto alla direzione di movimento della nave.

Figura 2.12 - Esempio di boa di coda in cui è visibile una parte del cavo sismico (fonte: www.jamstec.go.jp)

2.5.4 Navi per la prospezione sismica in mare

Per l'esecuzione a regola d'arte di una prospezione sismica in mare occorre disporre di apposite apparecchiature e di mezzi idonei atti allo scopo da raggiungere. Oltre alle attrezzature illustrate nei particolari nei paragrafi precedenti, un progetto di ricerca in mare necessita di mezzi natanti atti ad ospitare sia la complessa apparecchiatura descritta, sia la squadra di professionisti che ne governerà l'uso.

In una tipica campagna di acquisizione sismica in mare, il numero complessivo di imbarcazioni necessarie sono variabili da 2 a 3, ognuna avente un compito ben prestabilito:

1. Nave sismica di acquisizione (*seismic survey vessel*);
2. Barca da supporto (*support vessel*);
3. Barca da inseguimento (*chase vessel*).

Se la nave di acquisizione è fondamentale per lo svolgimento delle attività e acquisizione dei dati sismici, le altre imbarcazioni sono dedite al controllo e a supporto delle operazioni logistiche. Talvolta, tuttavia, l'utilizzo della barca da inseguimento non si rende necessario poiché le condizioni logistiche sono tali da non richiederne la presenza sul campo di acquisizione. Nelle pagine che seguono verrà fornita una completa descrizione relativa alle caratteristiche principali delle navi sismiche da utilizzare nel presente progetto di prospezione.

Nave per la prospezione sismica (*Eight Streamer seismic survey vessel*)

Le attuali navi per le prospezioni sismiche sono dotate delle più moderne e sofisticate tecnologie sia per quanto riguarda la strumentazione di bordo finalizzata all'acquisizione dei dati richiesti, sia per ospitare l'equipaggio, sia per lo svolgimento delle essenziali attività logistiche.

Le moderne navi sismiche, infatti, sono strutturate in maniera tale da far fronte alle differenti esigenze tra cui: gli alloggi per l'equipaggio, la strumentazione di bordo, un mini eliporto, la scorta di carburante e vettovaglie in grado di garantire una discreta autonomia al natante. Il capitano è il responsabile della sicurezza a bordo della nave a cui spetta l'ultima parola sulle operazioni e le manovre della medesima.

La nave ospita a bordo tutti gli strumenti e le apparecchiature necessari per il rilievo:

- le grandi bobine in cui è raccolto il cavo sismico (*streamer*) con gli idrofoni;
- gli impianti necessari per la generazione dell'impulso elastico in mare (compressori e linee di distribuzione);
- la strumentazione per la registrazione del segnale da parte degli idrofoni;
- le apparecchiature per una preliminare elaborazione;
- gli strumenti di posizionamento per la registrazione in continuo della posizione della nave stessa e degli idrofoni dispiegati.

L'ubicazione del settore adibito al deposito della strumentazione varia in base al modello della nave; tuttavia normalmente è posto al centro del natante, talvolta sotto il ponte principale o a poppa. Contiene i principali strumenti per l'acquisizione dei dati sismici, il controllo dei cavi e dell'energizzazione della sorgente. Il sistema principale di navigazione è anche collegato ad un sistema di posizionamento satellitare, a un sistema radio, a bussole e altre apparecchiature e monitor per il controllo della posizione della nave. Vi è inoltre un'area di lavoro in cui testare gli strumenti o per la loro manutenzione e riparazione.

Nel settore di poppa si svolgono in genere funzioni di manovra come: la conservazione, il dispiegamento e il recupero della strumentazione sismica posta in mare. I cavi sismici sono raccolti in grandi bobine e quando l'acquisizione sismica comincia sono dipanati lungo i lati della nave e direttamente trainati dalla nave. Tutti gli elementi contenuti all'interno del cavo sismico sono collegati tramite speciali connettori alla sala della strumentazione. Durante le operazioni di prospezione sismica i cavi sismici sono calati in mare tramite uno scivolo che si trova nella parte posteriore del ponte. I parametri di flusso d'aria veicolato dai compressori agli *array* è monitorato dal pannello di controllo che è ospitato in un piccolo spazio di lavoro dove possono essere riparati anche gli *airgun*. L'equipaggiamento per il traino ha la funzione di effettuare l'idoneo trascinamento dei cavi sismici e degli *array* della sorgente. Si tratta di una complessa serie di strumenti progettata con lo scopo di assicurare ai cavi sismici multipli e agli *array* l'accurata disposizione spaziale dei

singoli elementi secondo il modello prestabilito. La manutenzione dell'*airgun* e dell'equipaggiamento per il traino è assicurata dei meccanici che fanno parte dell'equipaggio della nave. Come ogni imbarcazione, infine, nella cabina di comando si trovano le apparecchiature per la navigazione e il posizionamento della nave. Questo generalmente coinvolge il sistema di boe che contengono gli strumenti per la navigazione. Le boe di coda sono attaccate alle estremità di ogni cavo sismico nel punto più lontano dalla nave. Boe aggiuntive possono essere collegate alla sorgente di energizzazione o ai mezzi di traino del cavo.

Un'area della nave accoglie i motori e i compressori che forniscono elevati valori di pressione (2000 psi) agli *array* di *airgun*. I compressori sono capaci di ricaricare gli *airgun* rapidamente e in modo continuo, permettendo agli *array* di essere caricati ogni 10-15 secondi circa, mentre l'impulso dura un tempo brevissimo (2 millisecondi). Anche quest'area è sotto il controllo dei meccanici.

All'interno della nave sismica, infine, ha sede anche la sala di controllo e registrazione, in cui sono immagazzinati tutti i dati rilevati dagli idrofoni, dalle bussole magnetiche, dai sistemi di posizionamento. Da questa sala vengono anche gestiti gli *airgun* e tutte le apparecchiature di servizio. Già da subito a bordo della nave è persino possibile eseguire un'analisi preliminare dei dati acquisiti finalizzata sia ad una funzione di controllo della qualità del dato, sia ad una sommaria e parziale interpretazione degli stessi dati.

Il numero totale di persone dedite alle varie attività che compongono l'equipaggio di questo tipo di navi può anche raggiungere le cinquanta unità.

La Tabella 2.3 seguente riporta le specifiche tecniche della nave sismica che verrà utilizzata per i rilievi.

SPECIFICHE DELLA NAVE SISMICA		
Dimensioni nave	Lunghezza	74,4 m
	Larghezza	17,97 m
	Stazza	4396 (lorda)
Pescaggio		8,5 m
Velocità massima		13 nodi (24,1 km/h)

Tabella 2.3 - Dati operativi della nave sismica

Barca d'appoggio

L'attività della nave sismica verrà accompagnata e supportata da una nave d'appoggio (o supporto) che avrà la funzione di controllare le attrezzature trainate, verificare le condizioni ambientali, far fronte e risolvere qualsiasi problema logistico o richiesta da parte della nave sismica. Questo tipo di imbarcazione è anche in grado di eseguire il traino in caso di emergenza, garantire il rifornimento o il bunkeraggio della nave sismica. Il natante, inoltre, sarà dotato anche di gru da lavoro e la capacità di ospitare ed eseguire i cambiamenti di equipaggio. Talvolta, le più accessoriate, sono persino dotate di eliporto.

La tabella che segue (Tabella 2.4) riporta le specifiche tecniche della nave di appoggio che verrà utilizzata a supporto della nave sismica in merito al progetto di prospezione in esame.

SPECIFICHE DELLA NAVE DI APPOGGIO		
Dimensioni nave	Lunghezza	58,25 m
	Larghezza	12,8 m
	Stazza	4000 ton (circa)
Pescaggio		6,0 m
Velocità massima		12 nodi (22,2 km/h)

Tabella 2.4 - Specifiche tecniche della nave di appoggio

Nave da inseguimento

A supporto della nave sismica è talvolta richiesta anche la presenza di un'altra imbarcazione dedita al disbrigo di semplici ma essenziali attività logistiche che mirino sia a garantire la necessaria sicurezza del

personale in mare, sia il buon esito delle operazioni di prospezione. La *Chase ship* (nave da inseguimento) per l'appunto, avrà il compito di garantire che il tragitto a prua della nave sismica sia del tutto sgombero da ostacoli o sia interessato da altre attività come quella di pesca. Tale imbarcazione avrà infatti lo scopo di comunicare e avvisare ai pescatori locali delle operazioni dei ricerca in modo da non interromperne la continuità o verificare la presenza di eventuali altri natanti che possano ostacolare o inficiare le attività al disopra degli *streamers*.

La tabella che segue (Tabella 2.5) riporta le specifiche tecniche della nave di appoggio che verrà utilizzata a supporto della nave sismica in merito al progetto di prospezione in esame.

SPECIFICHE DELLA NAVE DA INSEGUIMENTO		
Dimensioni nave	Lunghezza	36,00 m
	Larghezza	7,20 m
	Stazza	---
Pescaggio		4,06 m
Velocità massima		11 nodi (20,4 km/h)

Tabella 2.5 - Specifiche tecniche della nave da inseguimento

2.5.5 Modalità operative

Per quanto concerne i dettagli tecnici delle metodologie adottate e le modalità delle attività di prospezione, esse riguardano principalmente aspetti legati all'esatta localizzazione delle linee sismiche che comporranno la griglia di acquisizione, la tempistica e le specifiche relative alle operazioni di supporto. La grande esperienza di Transunion Petroleum maturata negli anni nella realizzazione di attività di esplorazione come quella proposta nel presente report, induce a non fornire a priori valori esatti privi di ragionevoli incertezze. Il motivo risiede nel fatto che le variabili in gioco sono molteplici e relative alle condizioni logistiche, meteorologiche e indeterminazioni varie che possono ripercuotersi sullo svolgimento delle attività stesse e sulle tempistiche. Tuttavia sempre a causa della pregressa esperienza è possibile fornire delle stime confrontando tali dati con le campagne di acquisizione già realizzate.

- Allo stato attuale dei fatti, in merito alla mappa delle linee sismiche da acquisire, non è ragionevole disporre al momento di una mappa finale della griglia composta dalle singole linee da acquisire. La ragione risiede nell'impossibilità di stabilire con certezza a priori le aree da dettagliare con la ricerca poiché sono funzione delle caratteristiche emerse dagli studi effettuati nella fase precedente e delle caratteristiche riscontrate di volta in volta dall'analisi dei dati raccolti.

Anche la tempistica risulta estremamente variabile perché funzione di numerosi aspetti, taluni, in continua evoluzione e impossibili da definire a monte delle attività nonostante una meticolosa pianificazione. Tra i fattori che possono influire la tempistica abbiamo:

- La velocità della nave sismica è stimata attorno ai 4-5 nodi; una velocità inferiore inficerebbe il normale stendimento dei cavi e delle attrezzature trainate dal natante con ripercussioni sulla qualità dei dati di acquisizione; una velocità superiore a quella di crociera aumenterebbe la tensione dei cavi di traino e non garantirebbe l'omogeneità e la regolarità degli intervalli di energizzazione.
- L'intervallo di energizzazione dipende anche dalla risoluzione che si vuole ottenere dell'immagine della geologia del sottosuolo; un usuale punto di energizzazione è di 25 m ogni 2 array, pertanto 50 m per ogni sorgente; studi in merito hanno evidenziato che per una maggiore copertura delle strutture sepolte l'energizzazione dovrebbe avvenire ad intervalli di 18,75 m (37,5 m per ogni sorgente). Inoltre, le sorgenti sismiche adoperate per le attività in oggetto, operano in modalità flip-flop, ossia mentre un *array* carica il colpo, l'altro emette l'impulso così da ottimizzare i tempi. Si sottolinea infine che ogni array è composto da diversi *air-gun* ma che operano all'unisono come un'unica fonte di emissione.

Il calendario di massima per l'indagine in corso risulta difficile da stilare alla luce di quanto premesso; sono inoltre da considerare i tempi di inattività e i tempi tecnici di attesa che sono estremamente variabili a

seconda delle diverse condizioni trovate in *situ*. Tuttavia per avere un'idea di massima è stato stimato che per un'indagine sismica 2D come quella in progetto e della lunghezza totale di circa 100 km, la durata massima delle operazioni dovrebbe aggirarsi attorno ai 10 giorni.

2.6 Descrizione delle operazioni di perforazione

I paragrafi che seguono sono volti ad illustrare e descrivere le dinamiche e le tipologie di operazione da mettere in atto in una eventuale fase di perforazione. La campagna di perforazione costituisce una serie complessa e articolata di operazioni necessarie alla verifica diretta dell'esistenza di idrocarburi economicamente sfruttabili una volta definita la contemporanea presenza del sistema roccia-madre, roccia-serbatoio, roccia di copertura e trappole. Per questo motivo tale fase geognostica verrà posta in essere solo qualora gli studi pregressi, svolti nella precedente fase operativa di ricerca, dovessero confermare la presenza di indizi geologici che conducano alla potenziale presenza delle suddette condizioni. Una volta confermate tali condizioni, Transunion Petroleum Italia S.r.l., procederà alla perforazione di un pozzo esplorativo all'interno dell'area in oggetto la cui profondità finale sarà, comunque, funzione delle caratteristiche geologiche riscontrate. Si sottolinea comunque che l'eventuale fase di perforazione dovrà, in ogni caso, essere sottoposta ad una nuova procedura di VIA.

La descrizione delle operazioni di perforazione avviene attraverso dei passaggi schematici legati alla realizzazione di una postazione per la realizzazione di un pozzo esplorativo, le tecniche di perforazione e le tecniche di prevenzione dei eventuali rischi ambientali. Si ribadisce che queste attività sono strettamente interconnesse ai risultati delle indagini sismiche di rielaborazione dei dati disponibili e all'analisi di quelli che verranno acquisiti nella nuova campagna di rilievo sismico. Sono, inoltre, funzione del tipo di impianto che verrà scelto per la perforazione del pozzo esplorativo. Pertanto i dati che si riportano sono da considerarsi delle descrizioni di massima che però permettono di avere un quadro chiaro e completo delle operazioni che vengono effettuate durante la perforazione del pozzo esplorativo.

2.6.1 Tipologia delle piattaforme di perforazione *offshore*

L'esecuzione di un pozzo con scopi esplorativi ha la finalità di indagare gli obiettivi geologici (stratigrafici e/o strutturali) messi in evidenza dai rilievi geofisici precedentemente eseguiti per verificare la presenza d'idrocarburi e stimarne le caratteristiche qualitative e quantitative.

Di seguito sono descritti i principali impianti per la perforazione di un pozzo esplorativo in mare. Tali installazioni hanno come obiettivo, quello di ricreare le stesse condizioni operativo-ambientali presenti sulla terraferma. In essi, infatti, devono essere presenti, oltre agli alloggi per il personale, gli spazi dove ospitare anche le attrezzature necessarie alla perforazione.

- **Piattaforme fisse**: sono costruite con tralicci o gambe in cemento o acciaio ancorati direttamente al fondale marino con un ponte che accoglie la torre di perforazione, le eventuali attrezzature di perforazione atte a mettere in produzione il pozzo e gli alloggi per l'equipaggio. Queste piattaforme, grazie alla loro posizione fissa, sono progettate per tempi di utilizzo molto lunghi (ad esempio quando si decide di mettere in produzione un pozzo). Tali tipi di piattaforme sono usate per una profondità dell'acqua massima di 500 metri.
- **Piattaforme mobili (o *jack-up*)** (Figura 2.13): sono impiegate in fondali di profondità inferiore ai 200 metri. Per lo spostamento devono essere rimorchiate e sono dotate di gambe retrattili che poggiano direttamente sul fondo marino. Si tratta di piattaforme di perforazione composte principalmente da un piano, sorretto da tre tralicci. Quando occorre spostare le piattaforme da un punto all'altro, i tralicci vengono retratti e posti in superficie al di fuori del piano. Essi possono scorrere verso l'alto o il basso, e durante i trasferimenti si trovano in superficie, dunque poggiati sul ponte. La struttura è trainata da rimorchiatori (tre di solito, detti navi di appoggio), che lo portano sopra al punto scelto per perforare il pozzo. Una volta raggiunta la destinazione, i tralicci scorrono all'interno del *deck* e sono affondati nel fondale marino. A questo punto la piattaforma rimane fissa sulla sua postazione di lavoro fino al termine del pozzo, sollevata ad un'altezza tale da garantire che eventuali onde non vadano ad allagare il piano di lavoro.

Figura 2.13 – Esempio di piattaforma mobile o jack-up (fonte: www.isleofbarra.com)

Qualora, per il permesso di istanza di ricerca in oggetto, le operazioni di ricerca dovessero avere esiti positivi, per le eventuali operazioni di perforazione da parte di Transunion Petroleum Italia S.r.l. la scelta ricadrebbe proprio su questo tipo di piattaforma.

- **Piattaforma semisommergibile (semisub):** le piattaforme semisommergibili (Figura 2.14) possono lavorare in fondali molto profondi (anche maggiori di 1000 metri) e devono essere rimorchiate anch'esse da navi. Sono dotate di grossi scafi sommersi (il cui zavorramento definisce il livello della piattaforma sul mare). Le piattaforme semisommergibili sono considerate a tutti gli effetti dei natanti, proprio per la loro capacità di galleggiare e navigare abbastanza agevolmente. Dalla metà degli anni ottanta in poi, i semisommergibili sono stati costruiti come dei catamarani. Queste piattaforme, sono anch'esse realizzate con un piano, che ospita tutte le attrezzature di perforazione, ed è installato tramite colonne, le quali a loro volta, poggiano su scafi, che permettono il galleggiamento. Sono più grandi dei jack-up e possono lavorare in fondali molto più profondi. Questi mezzi sono muniti di eliche, alimentate da motori elettrici. Tali apparecchi sono definiti "*thrusters*", ossia generatori di spinta, che servono a contrastare le correnti marine e i venti di superficie, i quali porterebbero il mezzo alla deriva. Infatti con i *thrusters*, il mezzo può operare in posizionamento satellitare dinamico e riuscire a rimanere perfettamente sulla verticale del pozzo, senza l'ausilio di ancore. Le eliche hanno il compito principale di tenere fermo il mezzo, ed essere adoperati come propulsori ausiliari oppure autonomi (nel caso non ci si sposti con i rimorchiatori). Ad ogni modo, il mezzo lavora sempre ancorato. Le ancore possono essere nove oppure otto. Questo dipende dalla forma dell'impianto, che visto dall'alto, può avere una conformazione triangolare (3 ancore per spigolo), oppure quadrata o rettangolare (2 ancore per spigolo). Il mezzo è progettato in modo che, se una delle ancore dovesse cedere, le altre riescano comunque a mantenerlo in postazione. In funzione della massima profondità d'acqua in cui può operare, e in base al tipo di eliche, i semisub sono classificati in generazioni. Ora si è arrivati alla sesta generazione, ossia piattaforme autopropulse.

Figura 2.14 – Esempio di piattaforma semisommergibile (fonte: www.digilander.libero.it)

- **Piattaforme sommergibili**: sono degli impianti di perforazione *offshore* adatti a fondali da pochissimi metri fino a qualche decina di metri. Sono in grado di galleggiare come natanti, anch'essi devono essere rimorchiati, non essendo dotati di organi motori marini, ma, a differenza dei *jack-up*, quando arrivano nel punto prescelto, riempiono di acqua i cassoni di galleggiamento e si autoaffondano, andando ad appoggiarsi sul fondo del mare. È importante quindi che il fondale sia piatto e regolare. La dotazione è la stessa di un *jack-up*. A fine pozzo, le pompe svuotano i cassoni dall'acqua e l'impianto va in galleggiamento, pronto a essere rimorchiato altrove.
- **Nave da perforazione o d*rilling ship*** (Figura 2.15): le navi da perforazione possono navigare autonomamente e, come le piattaforme semisommergibili, per mantenere la posizione dello scafo sulla verticale del pozzo utilizzano ancore, cavi e catene oppure il posizionamento satellitare dinamico con propulsori. Nella carena delle navi è ricavata un'apertura attraverso la quale passano le aste e le tubazioni di rivestimento dei pozzi. Essa è ancor oggi il mezzo migliore per perforare pozzi esplorativi in aree remote, lontane dai punti di rifornimento, perché su di essa si può caricare tutto il materiale necessario alla perforazione di un pozzo anche particolarmente impegnativo. Le navi di perforazione ancorate si possono utilizzare fino a profondità dell'ordine di circa 1000 m, mentre per profondità superiori si utilizzano navi a posizionamento dinamico (posizionamento tramite il sistema satellitare GPS); queste ultime sono oggi capaci di operare in acque profonde anche 3000 m. In questo caso, il limite alla profondità è imposto solo dal peso e dalla resistenza meccanica del sistema di connessione con la testa pozzo sottomarina.

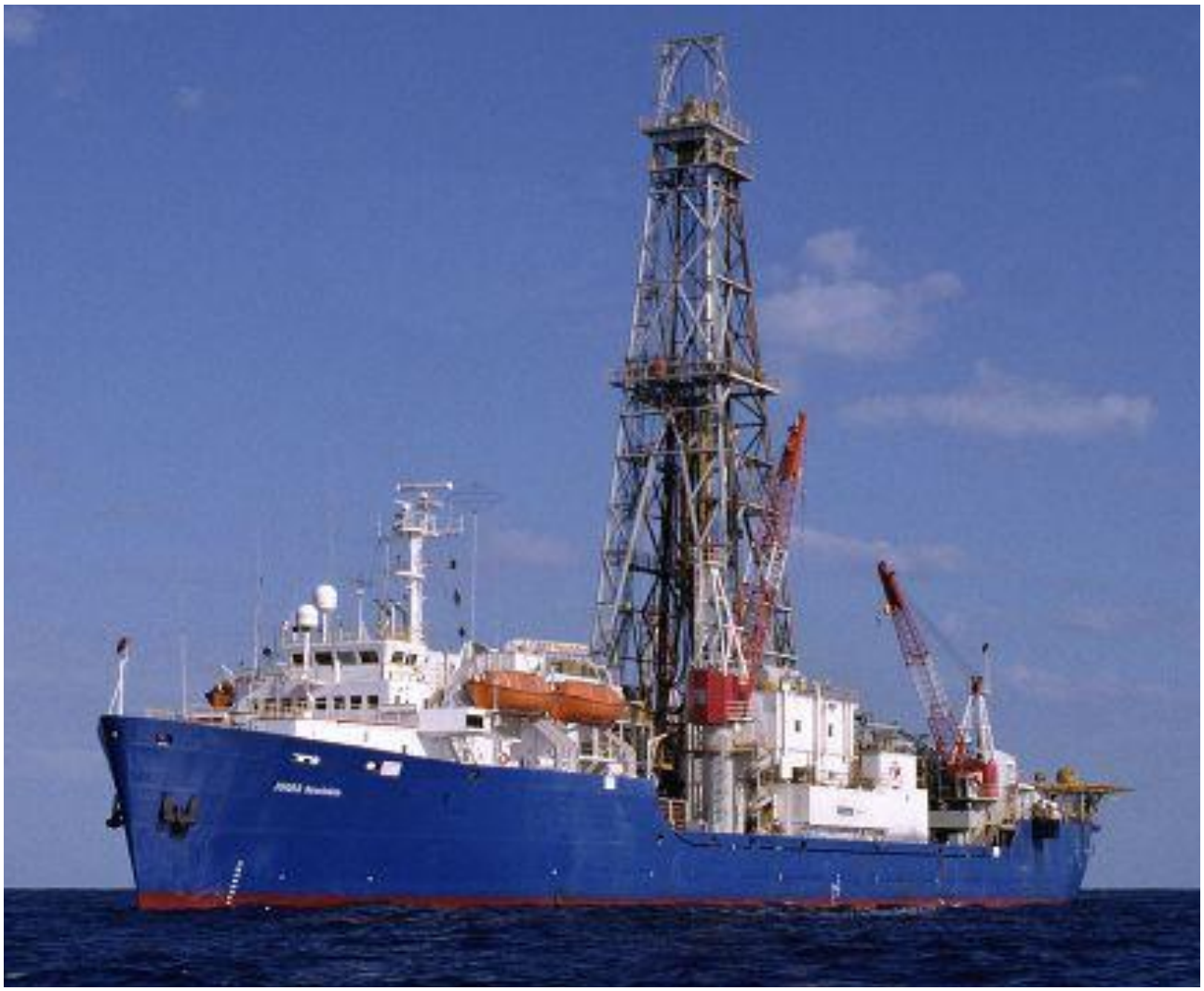


Figura 2.15 - Esempio di *drilling ship* (fonte: www-odp.tamu.edu)

- ***Compliant towers***: questo tipo di piattaforma consiste in torri strette e flessibili con un pilone di fondazione che sostiene un piano dove si trovano la torre di perforazione e tutte le attrezzature necessarie per la perforazione o l'eventuale messa in produzione del pozzo oltre che gli alloggi dell'equipaggio. Tali piattaforme sono progettate per sostenere notevoli sforzi e sollecitazioni laterali e sono usate in genere in acque la cui profondità varia tra 450 e 900 metri.
- **Piattaforme con gambe in tensione (*Tension Leg Platforms* o TLP)**: queste piattaforme consistono in un impianto di perforazione galleggiante collegato al fondo marino in maniera da eliminare la maggior parte del movimento verticale della struttura. Tali impianti sono usati fino a profondità massime di 2000 metri. Esiste anche una versione più piccola usata in acque meno profonde (tra 200 e 1100 metri) dello stesso tipo di piattaforma denominato "*sea star*".
- **Piattaforme SPAR (*SPAR Platforms*)**: sono ormeggiate al fondo marino come le TLP ma con un sistema di linee di ancoraggio più convenzionale. Tali piattaforme sono progettate in tre configurazioni principali e di solito operano in acque tra i 600 e 1700 metri. Bisogna osservare che tali strutture, in caso di messa in produzione del pozzo alla conclusione della fase esplorativa, potranno diventare permanenti o semipermanenti. Di notte o in caso di scarsa visibilità qualsiasi tipo di piattaforma descritta in precedenza dovrà avere un adeguato sistema d'illuminazione per segnalare a eventuali natanti o aeromobili la loro presenza. Tutti i tipi di piattaforma descritti in precedenza sono autosufficienti per la generazione dell'elettricità, i desalinizzatori d'acqua e tutto l'equipaggiamento necessario alla perforazione o eventuale messa in produzione del pozzo. Ogni piattaforma è assistita costantemente 24 ore su 24 da piccole navi di supporto dette ESV (*Emergency Support Vessel*-Nave appoggio d'emergenza) che in caso di necessità ha il compito di guidare le operazioni di ricerca e salvataggio. Oltre a questo tipo di nave possono essere presenti

a supporto delle operazioni anche altre navi di appoggio della piattaforma: le PSV (*Platform Supply Vessels*, Figura 2.16). Tali navi sono utilizzate per il rifornimento delle scorte alimentari, dell'equipaggiamento necessario all'avanzamento del pozzo durante la perforazione e/o produzione (materiale tubolare come aste di perforazione o *casing*, altro materiale come il cemento o il fango) o per i cambi del personale.

Figura 2.16 - Nave appoggio per piattaforma o *supply vessel* (fonte: www.nordcapital.com)

Inoltre qualsiasi tipo di piattaforma è dotata di un efficiente sistema antincendio (controllato periodicamente) oltre a due o più scialuppe di salvataggio che vengono utilizzate in caso di abbandono della piattaforma stessa. Tutto il personale operante in piattaforma, infine, oltre che essere altamente specializzato ed avere seguito appositi corsi (antincendio, primo soccorso, sopravvivenza) è periodicamente sottoposto a esercitazioni per simulare casi di emergenza o di abbandono della piattaforma.

2.6.2 I meccanismi di compensazione del moto

Un impianto di perforazione in mare aperto deve essere in grado di operare con la piattaforma in movimento, poiché i sistemi di ancoraggio o di posizionamento satellitare (posizionamento dinamico) non sono fissi e permettono quindi spostamenti piuttosto rilevanti, sia sul piano orizzontale sia su quello verticale. Il movimento verticale è particolarmente dannoso per le operazioni di perforazione, poiché modifica le tensioni agenti sulla batteria delle aste. Occorrono quindi dei compensatori del moto, al fine di garantire una tensione costante sia sulla batteria di perforazione, sia sul *marine rieser* (asta che collega la testa pozzo sottomarina con la piattaforma). Se non si prevedessero meccanismi di compensazione del moto, il movimento verticale di un impianto di perforazione galleggiante, generato da onde e maree, trasmetterebbe pericolose sollecitazioni alla batteria di perforazione ed allo scalpello con conseguenze dannose per la perforazione. Esistono due varianti dei compensatori del moto, basate su principi differenti: il giunto telescopico, oggi non più usato e il sistema di compensazione dell'alzata. Il sistema di compensazione dell'alzata è composto da un sistema di tensionatori oleodinamici o pneumatici che bilanciano gli spostamenti verticali dell'impianto attraverso la corsa di opportuni pistoni, funzionanti sia in trazione sia in compressione, che mantengono costante la tensione sulla parte superiore della batteria di perforazione.

2.6.3 Attività di perforazione del pozzo

Con l'attività di perforazione ci si prefigge di raggiungere, in relazione alle condizioni stratigrafiche e all'assetto geologico-strutturale che caratterizzano le formazioni rocciose in oggetto, il fondale ad una profondità di esercizio variabile a seconda del punto esatto in cui verrà stabilita la perforazione del pozzo che si stima di 2700 metri dal substrato roccioso.

Si ricorda che questa attività è strettamente legata ai risultati ottenuti delle indagini sismiche e dalla rielaborazione dei dati disponibili e pertanto i dati riportati di seguito sono da considerarsi delle descrizioni

generali che, tuttavia, permettono di avere un quadro chiaro e completo delle operazioni che vengono effettuate durante la perforazione del pozzo esplorativo.

Tecniche di perforazione

Tre le principali tecniche di perforazione comunemente utilizzate, si elencano di seguito gli elementi che costituiscono l'impianto per il funzionamento di un pozzo:

- Torre di perforazione (struttura composta da travi in acciaio la cui funzione è di sostenere le pulegge e che contiene la batteria di perforazione);
- Sottostruttura (su cui poggiano argano, tavola rotary e torre);
- Vasche fanghi (per la miscelazione e lo stoccaggio) e pompe fanghi;
- Attrezzatura di perforazione (aste e scalpello);
- Generatori.

La perforazione del pozzo avverrà tramite un sistema rotativo che trasmette il moto di rotazione dalla superficie fino allo scalpello, fissato all'estremità di una batteria di aste tubolari. Gli elementi che producono il moto di rotazione sono:

- Tavola Rotary: piattaforma girevole recante inferiormente una corona dentata, trasmette il moto rotatorio alla batteria e allo scalpello e ha la funzione di tenere sospesi i tubi e le aste durante le manovre;
- Asta motrice: asta tubolare di sezione quadrata o esagonale, appesa alla testa di iniezione, che passa attraverso la tavola rotary trasmettendole la rotazione;
- Batteria d'aste: composta da aste di forma circolare che si distinguono in normali e pesanti (queste ultime vengono montate subito al di sopra dello scalpello in modo da generare un'adeguata spinta sullo stesso);
- Testa di iniezione: permette il pompaggio dei fanghi all'interno della batteria di perforazione mentre è in rotazione. Funziona da connessione tra il gancio della taglia mobile e la batteria di aste.

Negli impianti più moderni è presente una testa motrice detta *top drive* che raggruppa in un unico sistema gli ultimi tre elementi sopra descritti. Esso è sospeso alla taglia mobile per mezzo di un apposito gancio dotato di guide di scorrimento, nella testa motrice sono quindi incluse la testa di iniezione (che permette il pompaggio dei fanghi all'interno della batteria di perforazione mentre è in rotazione), un sistema per l'avvitamento e lo svitamento della batteria di perforazione e un sistema di valvole per il controllo del fango pompato in pozzo.

Lo scalpello è un elemento che viene ruotato (attraverso una batteria di aste cave azionate dalla tavola rotary) e contemporaneamente spinto nel fondo del foro. Con il proseguire delle attività di scavo del pozzo, lo scalpello va incontro ad usura e dovrà essere ciclicamente sostituito. Lo scalpello viene azionato dalla batteria di perforazione. La prima delle aste appartenenti alla batteria è detta asta motrice e passa attraverso la tavola *rotary*. Essa è connessa al gancio manovrato attraverso la torre di perforazione. Il fango di perforazione è immesso all'interno del foro attraverso la tubazione di mandata del fango.

I fanghi di perforazione sono fluidi che vengono fatti circolare all'interno delle aste e nell'intercapedine tra queste e le pareti del foro. I fanghi sono normalmente costituiti da una fase liquida (acqua dolce o salata o idrocarburi) che viene resa colloidale ed appesantita attraverso l'uso di appositi prodotti. Le proprietà colloidali necessarie per mantenere in sospensione i detriti e per costruire un pannello di rivestimento sulle pareti finali del pozzo al fine di evitare infiltrazioni e/o perdite, vengono favorite dalla presenza della bentonite (particolare tipo di argille) e da altri particolari additivi (carbonato di potassio, polimeri polivinilici e silicati).

Le principali funzioni dei fanghi di perforazione sono:

- sollevamento e rimozione dei detriti (*cuttings*) dal fondo pozzo verso la superficie, in modo da tener pulito il fondo pozzo e non rimacinare gli stessi detriti. Per questa funzione le caratteristiche

primarie del fango utilizzato devono essere la viscosità e la densità, in modo da riuscire a trasportare in superficie i *cuttings* anche di apprezzabili dimensioni;

- raffreddamento e lubrificazione dello scalpello e della batteria di perforazione al fine di ridurre la frizione che si crea tra le aste di perforazione e le pareti del foro;
- contenimento dei fluidi di strato presenti nelle formazioni attraversate per effetto della pressione idrostatica esercitata dalla colonna di fango in foro. Perché ciò avvenga la pressione idrostatica del fango deve essere superiore alla pressione di formazione, altrimenti i fluidi di strato entrerebbero in pozzo risalendo in superficie, creando numerosi problemi (*kick* o *blow out*). La pressione idrostatica del fango è data dal suo peso specifico moltiplicato per la profondità, per cui per aumentarla basta appesantire il fango aggiungendo dei materiali inerti che non vanno in soluzione, ma rimangono in sospensione non andando quindi ad alterare le caratteristiche del fango;
- stabilizzazione delle pareti del pozzo. Nel caso di formazioni porose, si verifica la filtrazione del fango: mentre la parte liquida dei fanghi tende a penetrare nella formazione, la parte solida si separa e forma una sorta di pellicola (detta *mud cake*) che impedisce ulteriori infiltrazioni e conferisce stabilità al foro stesso;
- grazie alla "tissotropia" dei fanghi, quando si sospende il pompaggio, tutti i detriti perforati che non sono ancora usciti dal pozzo invece di ricadere al fondo rimangono in sospensione alla profondità a cui erano arrivati risalendo. Riprendendo il pompaggio, il fango, dopo un piccolo sforzo iniziale, ridiventa liquido e la circolazione può riprendere regolarmente;
- fonte di informazioni riguardanti le formazioni attraversate. L'analisi dei *cutting* portati in superficie dai fanghi e dei gas disciolti nei fanghi, sono importanti nel fornire informazioni sulla geologia della zona perforata e sull'andamento della perforazione.

Il tipo di fango utilizzato dipende principalmente dalle rocce attraversate durante la perforazione e dalla temperatura. Durante la stessa perforazione possono essere impiegati fanghi con caratteristiche diverse a seconda delle differenti situazioni che si possono incontrare durante l'avanzamento del pozzo. Il confezionamento del fango avviene in apposite vasche, aggiungendo all'acqua la bentonite ed il resto degli additivi che servono a conferirgli le caratteristiche chimico fisiche desiderate. I fanghi possono essere a base d'acqua (dolce o salata) oppure fanghi a base d'olio (cioè prodotti a base d'idrocarburi). Ai fanghi vengono comunemente addizionati altri materiali con funzione di viscosizzanti per migliorare la capacità di trasporto (normalmente vengono utilizzate argille bentonitiche) e di appesantimento (per aumentare la densità). Vengono inoltre utilizzati altri additivi chimici per controllare la capacità di fluidificazione dei fanghi, variare la loro viscosità, oppure antischiumogeni, lubrificanti o anticorrosivi. È importante comunque assicurare un continuo controllo sulle proprietà fisico-chimiche dei fanghi durante le varie fasi di perforazione.

Il circuito del fango è un circuito idraulico chiuso che permette al fango di passare nella testa di iniezione, nelle aste, nello scalpello, di arrivare a pulire il fondo del foro e quindi di risalire nell'intercapedine tra le aste e il foro. Una volta uscito, il fango viene ripulito dai *cutting* e viene quindi iniettato nuovamente nel foro.

Di seguito vengono elencati gli elementi che fanno parte del circuito del fango:

- Pompe di mandata (permettono la circolazione del fango);
- Condotte di distribuzione di superficie (o *manifold* di sonda, per inviare il fango alla testa di iniezione);
- Testa di iniezione;
- *Kill line* (linea che porta il fango alla testa pozzo);
- Batteria di perforazione;
- Sistema di trattamento solidi o vibrovagli (apparecchiature che separano il fango riportato in superficie dai *cutting* inglobati durante la risalita. Si tratta di una macchina dotata di maglie con diversa apertura poste in vibrazione);

- Vasche di fango;
- Vascone rifiuti (in cui vengono stoccati i *cuttings* separati dai fanghi).

Registrazione diagrafie (*wireline logging*)

Lo scopo delle registrazioni dei carotaggi elettrici è raccogliere informazioni riguardanti le proprietà delle formazioni attraversate, quali litologia, resistività, porosità, saturazione dei fluidi, permeabilità. In questo modo è possibile accertare l'eventuale presenza di gas biogenici. Per la registrazione dei log elettrici verranno calati all'interno del foro appositi strumenti (*logging tools*) che misurino i parametri sopra elencati, in modo da poter valutare le caratteristiche produttive dell'obiettivo minerario. In caso di esito positivo si procederà alla fase di completamento del pozzo. In caso di esito negativo si procederà invece alla chiusura mineraria.

Programma di geologia operativa e *wireline testing*

Durante la perforazione verrà effettuata un'attività di analisi continua dei detriti di perforazione (*mud logging*), di controllo dei fluidi di perforazione e di acquisizione e elaborazione dei vari parametri di perforazione. Tale attività è finalizzata al riconoscimento, in tempo reale, dell'eventuale presenza di idrocarburi nelle formazioni attraversate e al monitoraggio in maniera continuativa delle condizioni operative nel pozzo.

Mudlogging: Il servizio di *mudlogging* sarà quindi presente sul sito per tutta la durata delle operazioni di perforazione e carotaggio del pozzo e comprenderà la raccolta di dati e la trasmissione quotidiana all'operatore, come descritto di seguito:

- **Campionamento geologico:** analisi e descrizione dei detriti di perforazione, compreso l'esame per luminescenza effettuato utilizzando solventi adatti al rilevamento di idrocarburi, confezionamento ed etichettatura dei campioni. Deve essere tenuto un registro accurato della trasmissione di tutti i campioni spediti dal sito del pozzo;
- **Intervalli di prelievo dei campioni:** verranno raccolti una serie di campioni umidi e secchi a diverse profondità. Il numero e l'esatta posizione saranno in funzione della perforazione;
- **Rilevamento e monitoraggi di gas nel getto di fango:** analisi cromatografica dei gas dal metano al pentano;
- **Monitoraggio dei gas nel getto di fango utilizzando dati forniti dalle apparecchiature di perforazione:** monitoraggio degli idrocarburi gassosi totali;
- **Raccolta dati di perforazione computerizzati utilizzando i dati digitali forniti dal sistema di sensori delle apparecchiature di trivellazione:**
  - monitoraggio continuo dei dati del pozzo e di perforazione;
  - registrazione e memorizzazione dei dati;
  - monitor di visualizzazione nell'unità diagrafia fanghi, nell'ufficio del Supervisore della Trivellazione, nell'ufficio del Responsabile dell'Impianto di Perforazione HDI; un monitor a prova di esplosione nella console del Perforatore;
  - stampa delle registrazioni in ordine di tempo;
  - recupero delle registrazioni in ordine di profondità;
  - recupero e utilizzo dati;
  - idraulica online (*Bingham & Power Law*);
  - calcolo del ritardo online.
- **Carote di parete**: si potranno prelevare dei campioni dalle pareti laterali durante l'esecuzione del pozzo.
- **Campionamento fluidi**: si potranno campionare, sia durante la perforazione che durante i test, i fluidi provenienti dalle formazioni attraversate dal sondaggio.

- **Wireline testing**: è prevista inoltre l'acquisizione di misure di pressione mediante RFT (*Repeat Formation Tester*) o MDT (*Modular Formation Dynamics Tester*), al fine di acquisire dati di pressione e i gradienti di formazione in corrispondenza dell'obiettivo minerario. Le modalità e le profondità alle quali saranno effettuati i test saranno decise sulla base dell'interpretazione preliminare dei log elettrici.

A valle della identificazione positiva di formazioni contenenti idrocarburi, derivanti dall'analisi dei log e dalle misure di pressione, si potranno prevedere prove di produzione.

Prove di produzione

Nel caso in cui la registrazione dei log elettrici indichi la potenziale presenza di idrocarburi, sarà prevista l'esecuzione di una serie di prove di produzione del pozzo. Il programma di prova di produzione, non prevedibile durante la fase attuale, sarà predisposto quando la geologia del sito e la natura dei fluidi presenti saranno definiti nel dettaglio. Tuttavia, di seguito si riporta una descrizione tipica di una prova di produzione. Lo scopo del test è finalizzato alla verifica della possibilità di portare gli idrocarburi in superficie.

Durante la prova, sia gli idrocarburi (gas, condensati e grezzo), sia il materiale vario prodotto durante la fase di pulizia (*clean up*) del foro, come fango, acqua e detriti, saranno potenzialmente portati in superficie. Tale flusso sarà alimentato in apposite apparecchiature dove avverrà la separazione dei gas dai liquidi.

Qualora in superficie giungesse olio, il test verrà subito interrotto poiché la messa in produzione del pozzo non è prevista durante questa fase. L'olio sarà, quindi, raccolto in un serbatoio dedicato per essere in seguito rinviato nella formazione di provenienza, mentre il gas verrà bruciato in torcia.

La durata di *clean-up* del pozzo è stimata al massimo in circa 48 ore, mentre quella del flusso di collaudo di circa 72 ore.

2.6.4 Attività conclusive

Completamento del pozzo

Nel caso in cui l'esito del sondaggio risulti positivo e vengano intercettate zone di accumulo di idrocarburi economicamente sfruttabili, si passerà al completamento del pozzo. Questa attività comprende l'insieme delle operazioni necessarie a consentire la messa in produzione del pozzo in condizioni di sicurezza. I completamenti dei pozzi si dividono in due grandi categorie: i completamenti in foro scoperto e quelli in foro tubato. Quest'ultimi sono i più impiegati, in quanto la tecnica garantisce una maggiore stabilità del foro, e in questo caso il completamento avviene in un pozzo che è stato rivestito e cementato su tutto il suo sviluppo. Per poter garantire la produzione è necessario ristabilire la comunicazione idraulica tra i livelli mineralizzati e il foro. Per il completamento del pozzo si utilizza la stringa di completamento, che può essere singola o multipla.

Accertamento minerario (well testing)

Per verificare il reale rendimento dei livelli produttivi individuati, successivamente alla perforazione e al completamento del pozzo, verranno effettuate delle prove di erogazione di breve durata. Questi test vengono eseguiti per valutare la portata di erogazione dal pozzo in funzione delle diverse aperture delle valvole di flusso e il tempo di risalita della pressione statica di testa pozzo, al fine di ricavare informazioni sulla capacità del *reservoir*. Il gas prodotto verrà analizzato dall'impianto di prova e smaltito attraverso la fiaccola.

Chiusura mineraria in caso di pozzo sterile o scarsamente produttivo

Nel caso le prove di produzione diano esito negativo (e quindi il pozzo risulti sterile o scarsamente produttivo) si procederà alla chiusura mineraria del pozzo. Verranno ripristinate le condizioni idrauliche iniziali al fine di isolare i fluidi di strato in modo da evitare l'inquinamento delle acque superficiali. Per la chiusura del pozzo verranno utilizzati i seguenti elementi:

- Tappi di cemento: tappi di malta cementizia che vengono inseriti nel pozzo per chiudere i diversi tratti del foro;

- *Squeeze*: iniezione di malta cementizia in pressione verso le formazioni tramite di appositi "*cement retainer*" con lo scopo di chiudere gli strati attraversati durante le prove di produzione;
- *Bridge plug*: dei tappi meccanici fatti scendere nel pozzo con le aste di perforazione e fissati con dei cunei alla parete della colonna di rivestimento. Un *packer* si espande contro le pareti della colonna isolando la zona sottostante da quella superiore;
- Fanghi: fanghi di opportuna densità vengono immessi nelle sezioni libere del foto, tra un tappo e l'altro, in modo tale da controllare le pressioni al di sopra dei tappi di cemento e dei bridge *plug*.

Il numero dei tappi e la loro posizione dipendono dalla profondità raggiunta, dal tipo e profondità delle colonne di rivestimento e dai risultati geologici e minerari (eventuali livelli produttivi individuati) del sondaggio, pertanto nel caso dell'eventuale chiusura mineraria il programma dettagliato sarà formalizzato al termine dell'attività di perforazione e/o delle prove di produzione e sottoposto all'approvazione della competente autorità.

2.6.5 Tecniche di prevenzione dei rischi ambientali

Al fine di salvaguardare l'ambiente circostante da tutti quegli eventi incidentali che potrebbero perturbare il suo naturale stato, verranno messe in atto, durante la fase di allestimento della postazione una serie di misure preventive attraverso l'utilizzo di elementi che possano ridurre i rischi connessi alle attività di cantiere.

Si ricorda che l'eventuale attività di perforazione di un pozzo esplorativo all'interno dell'area in oggetto è strettamente legata ai risultati ottenuti delle indagini sismiche, oggetto del presente studio ambientale, e dovrà, in ogni caso, essere sottoposta ad una nuova procedura di Valutazione di Impatto Ambientale. Pertanto, in tale sede, verranno analizzati in dettaglio i rischi ambientali inerenti le attività di perforazione e le opportune mitigazioni da attuare.

2.7 Emissioni sonore

L'ambiente marino è un sistema piuttosto complesso dal punto di vista acustico, caratterizzato da un'ampia varietà di segnali sonori, che si differenziano per origine, intensità, caratteristiche spettrali, etc.

Un recente studio condotto dal CNR-IDASC del 2011 per conto del GIONHA (*Governance and Integrated Observation of Marine Natural Habitat*) ha focalizzato l'attenzione sulle problematiche relative all'inquinamento acustico in ambiente marino.

In linea generale, è possibile eseguire una classificazione delle sorgenti sonore marine sulla base della tipologia in:

- sorgenti naturali - insieme dei suoni prodotti da fenomeni di natura sia fisica che biologica;
- sorgenti antropiche - risultato delle molteplici attività che insistono e sfruttano le risorse marine.

Le sorgenti antropiche, a loro volta, possono suddividersi in: intenzionali e non-intenzionali.

Uno tra i primi studi condotti sul rumore ambiente nei sistemi marini, e che tutt'oggi costituisce ancora un valido punto di riferimento è stato condotto negli anni' 60 da Wenz (Wenz, 1962) ed è riassunto nella sottostante Figura 2.17. Da essa si può notare come le varie sorgenti naturali, a carattere sia intermittente che continuo, abbraccino una porzione considerevole dello spettro sonoro, andando dai pochi Hz fino alle centinaia di kHz.

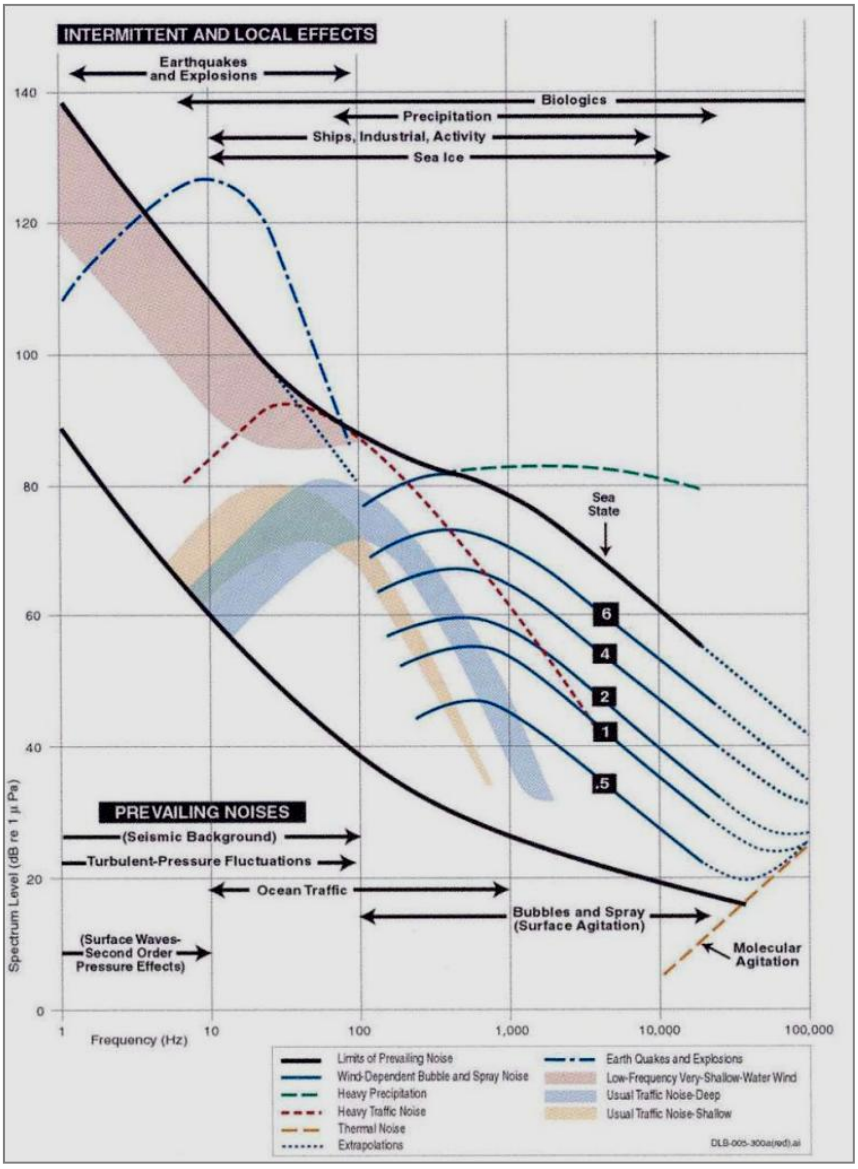


Figura 2.17 - Curve di Wenz: l'asse verticale mostra i valori dei livelli sonori (dB re 1 µPa), mentre quello orizzontale le frequenze (fonte: Wenz, 1962)

Nel presente studio saranno, in particolare, prese in esame le sole sorgenti di origine antropica con un dettaglio sull'attività relativa alle indagini geosismiche.

La frazione antropica del rumore è la componente che contribuisce maggiormente ad alterare il livello del

I suoni emessi durante le indagini geosismiche, sono generalmente caratterizzati da alta intensità e basse frequenze; questi vengono diretti verso la crosta terrestre e da questa, a loro volta, riflessi per poter così fornire una conoscenza dei vari assetti geologici che caratterizzano l'area indagata. Il suono riflesso viene processato per ottenere informazioni riguardo alla struttura e alla composizione delle formazioni geologiche, e per individuare potenziali riserve di idrocarburi.

Durante queste operazioni la sorgente acustica, un *array* di *air-gun* (come da progetto del presente studio), viene trainato ad una profondità di 4-10 metri con una velocità di 4-5 nodi, mentre la catena idrofonica (per la rilevazione dei segnali riflessi) viene posizionata ad un profondità di 10-12 metri e ad una distanza di alcuni chilometri dall'*array* delle sorgenti.

Ad ogni singolo *air-gun* è associabile un livello sonoro tra 215-230 dB re 1 µPa, con una concentrazione dell'energia tra i 10 ed i 300 Hz (Greene et al. 1994) e, se utilizzato acque poco profonde (20-25 metri) può essere percepibile anche in aree distanti decine di chilometri.

Per rendersi realmente conto, sia qualitativamente che quantitativamente, dell'impatto acustico che può generare nell'ambiente marino circostante una attività di prospezione sismica si demanda al sito *web* www.sonsdemar.eu, nel quale sono messe a confronto diverse fonti sonore potenzialmente presenti in mare.

Il fenomeno di propagazione delle onde sonore è molto complesso e funzione di diversi fattori e parametri fisici. Generalmente la velocità con cui le onde sonore si propagano attraverso un qualsiasi mezzo (gassoso, liquido o solido) non è una costante in ogni punto, ma dipende dalle caratteristiche del mezzo stesso. Essa, infatti, aumenta al diminuire di tre parametri, quali temperatura, livello di salinità e pressione. In questo ambito si parla più frequentemente di pressione intesa in *sensu latu* come profondità dal momento che, con l'aumentare della prima, la pressione aumenta in modo lineare. La temperatura e la salinità, invece, variano secondo latitudine, stagione, ora del giorno, condizioni meteorologiche e altri fattori oceanografici.

I tre parametri citati modificano il valore della velocità di propagazione secondo la seguente formula di Mackenzie (1981):

$$c(P,S,T) = 1448.96 + 4.591\,T - 5.304 \times 10^{-2}\,T^2 + 2.374 \times 10^{-4}\,T^3 + 1.340\,(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2}\,P + 1.675 \times 10^{-7}P^2 - 1.025 \times 10^{-2}T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13}\,TP^3$$

dove:

c = velocità del suono (m/s); T = temperatura (°C); S = salinità (*ppt*) e P = profondità (m).

Questa relazione fornisce un errore di 0,07 m/s ed è valida entro valori di temperatura tra 0 e 30 °C, livello di salinità tra 25 e 40 *ppt* e profondità tra 0 e 8000 m.

Il valore convenzionale della velocità del suono in acqua, ad una temperatura di riferimento di 23 °C, è di circa 1500 m/s, ossia circa 4,3 volte il valore in aria.

Entrando nel merito dell'attività oggetto di studio e, nel particolare, conoscendo il tipo di configurazione e di modello degli *array* utilizzati visti precedentemente nel paragrafo 2.5.2, è possibile fornire gli spettri di pressione sonora per le emissioni di energia che verranno poste in essere dall'utilizzo del modello 4330. La modellizzazione della sorgente utilizzata prende il nome di *"Far Field"* e verrà illustrata qui di seguito.

2.7.1 Modellizzazione della sorgente nel "Far Field"

A causa del movimento fisico dell'aria compressa e del fatto che la sorgente di energia si trova immersa in acqua di 7-8 metri e si muove ad una velocità di circa 8-9 km/h risulta abbastanza difficoltoso misurare in modo preciso l'effettivo livello della pressione sonora. Di conseguenza si sono dovute fare delle assunzioni per poter modellare la risposta del campo lontano a seguito dell'energia emessa. Le valutazioni sono state effettuate attraverso un modello che ha permesso di ottenere dei valori applicabili al lavoro proposto (Figura 2.18).

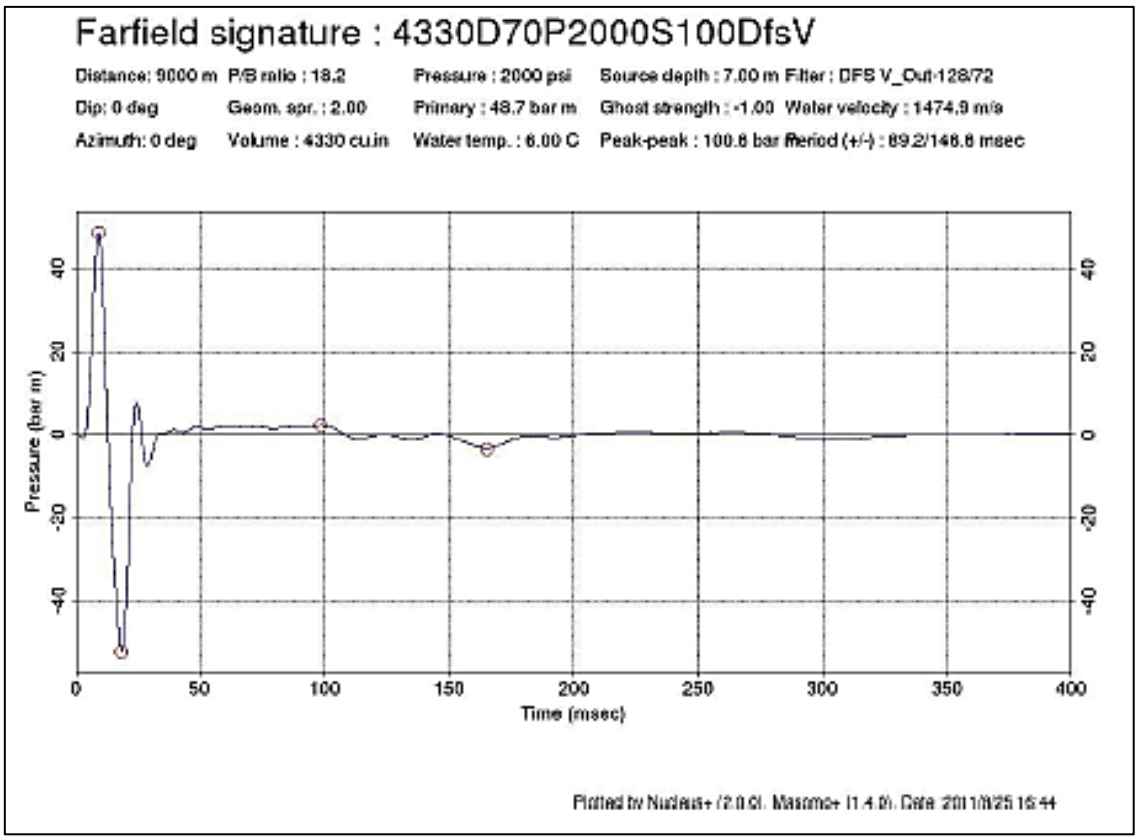


Figura 2.18 - Modello dello spettro della pressione sonora per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330

Per questo tipo di acquisizione, il calcolo dell'impulso sorgente viene ricavato dalla registrazione nel campo lontano della sorgente di energia. Inizialmente la sorgente di energia viene considerata sulla verticale del punto di ricezione, assumendo che sorgente e ricevitore si trovino perfettamente allineati uno sopra l'altro. In questo modo si assume che tutti gli impulsi arrivino con lo stesso tempo di ritorno a questo punto ipotetico. I dati così calcolati vengono successivamente ricorretti attraverso dei modelli matematici prendendo in considerazione anche il fattore di obliquità e la divergenza sferica.

Come noto, il picco massimo di energia da ogni elemento sorgente non si allinea nella sua posizione vicino alla sorgente di energia (*near field*) poiché essa non è più rappresentata da un punto ma è distribuita lungo il gruppo di sorgenti (*array*) e nello spazio/tempo. Pertanto il livello di pressione emesso vicino alla sorgente è inferiore rispetto a quello calcolato nel campo lontano. La posizione spaziale dei singoli elementi di origine dell'energia è mostrato nella Figura 2.19.

Il valore verticale in uscita del campo lontano (*far field signature*) è stato modellato utilizzando frequenze fino a 100 Hz sebbene misure di calibrazioni non siano disponibili per valori superiori ai 140 Hz. La Figura 2.19 mostra lo spettro di ampiezza per una sorgente d'energia modellata sul calcolo del campo lontano.

Si può osservare come il livello massimo di pressione sonora (SPL) in uscita dalla sorgente sia di poco superiore ai 210 dB rif. 1uP/Hz @ 1m (notazione standard del settore sismico per una fonte in uscita di campo lontano). Questa potenza massima si verifica a frequenze inferiori a 80 Hz. Va inoltre osservato che gli effetti di assorbimento sono maggiori per le alte frequenze rispetto alle frequenze al di sotto degli 80 Hz, il che suggerisce che le alte frequenze risultano attenuate più rapidamente rispetto alle basse frequenze. Si deve inoltre osservare che l'emissione di un gruppo di sorgente di energia è di tipo direzionale e che deve tenere conto che il valore massimo di emissione è diretto verso il basso.

Come espresso in precedenza, il livello della sorgente sonora dell'*array* varia considerevolmente sia nella direzione verticale sia orizzontale a causa della complessa configurazione degli *air-gun* che compongono l'*array*. Questa variabilità deve essere tenuta presente per predire in modo corretto il campo sonoro di un *array* di *air-gun*.

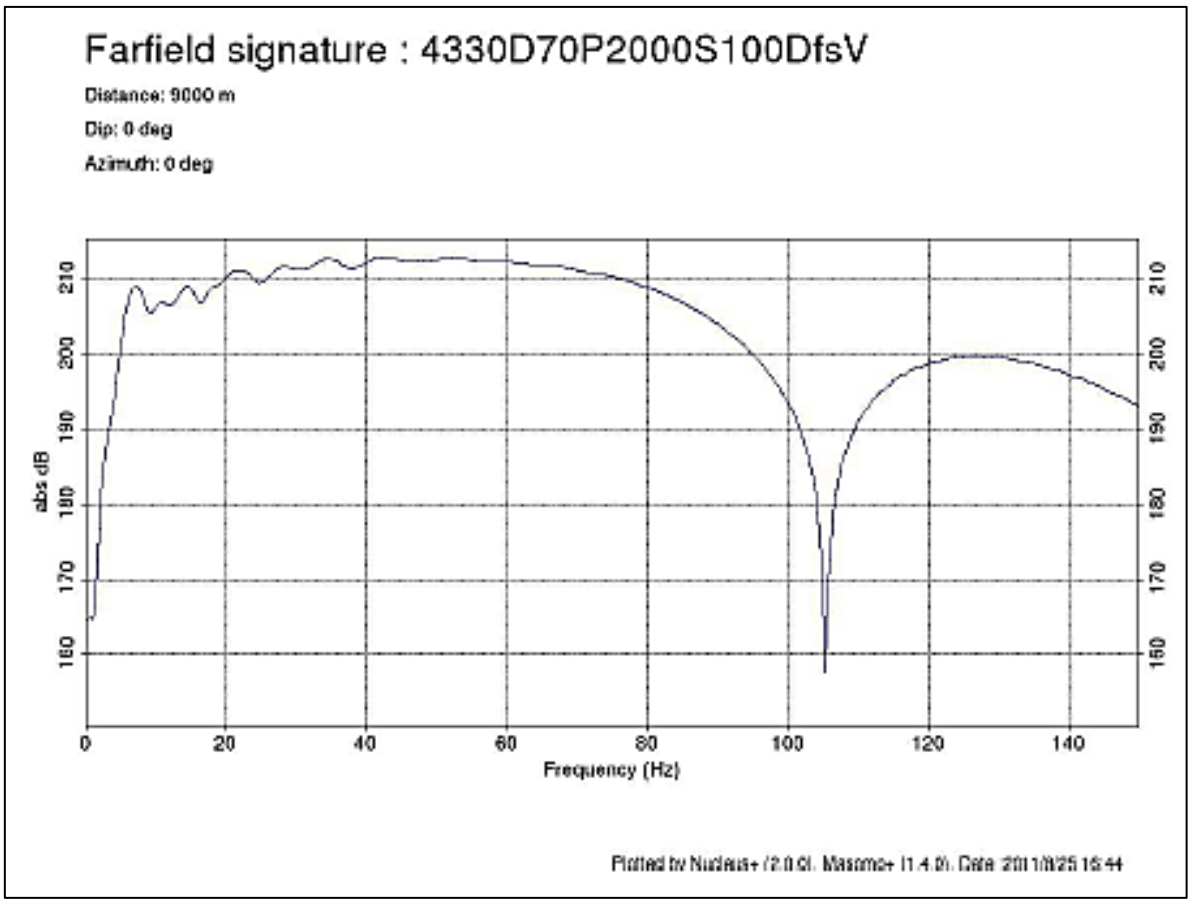


Figura 2.19 - Modello dello spettro di ampiezza per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330

2.8 Occupazione dello specchio d'acqua

La durata della campagna sismica si aggira attorno ai 10 giorni, durante i quali l'area in istanza di ricerca verrà occupata dalle varie strumentazioni ed imbarcazioni. L'occupazione dello specchio d'acqua è un fattore d'impatto a durata limitata ed al termine di ogni sessione di indagine si provvederà al recupero dell'area indagata ed alla restituzione dell'originaria destinazione d'uso. L'impatto potenziale durante la fase di acquisizione è estremamente ridotto, dato che le attrezzature presentano modeste dimensioni, mentre l'impatto della nave sismica è assimilabile a quello del normale traffico marittimo di pescherecci e traghetti presenti nella zona.

Al fine di ridurre al minimo le interferenze con la navigazione indotte dalle attività in progetto, inclusa quella finalizzata alla pesca, è prevista la suddivisione dell'area indagata in zone che verranno analizzate di volta in volta in successione. Inoltre, durante l'acquisizione, il proponente fornirà alle Capitanerie di Porto aventi giurisdizione sulla zona oggetto di indagine un calendario settimanale delle operazioni che verranno svolte e delle zone che saranno interessate dall'attività proposta. Sarà inoltre presente un rappresentate locale che si occuperà di mantenere i contatti con le autorità coinvolte.

Con lo scopo di limitare al più possibile qualsiasi eventuale interferenza tra l'attività proposta e le attività di pesca presenti nell'area, Transunion Petroleum si impegna ad effettuare il rilievo sismico esclusivamente al di fuori dei periodi di maggiore attività riproduttiva delle specie maggiormente commercializzate, corrispondenti al periodo primaverile.

2.9 Emissioni in atmosfera

Come per quando elencato nel capito precedente dei rifiuti, la convenzione MARPOL regola la prevenzione dell'inquinamento atmosferico da scarichi dei motori marini attraverso l'Annesso 6. Quest'ultimo, adottato nel 1997, è entrato in vigore il maggio 2005, dodici mesi dopo il raggiungimento delle condizioni che erano state prefissate. L'Annesso 6 si applica alle navi il cui paese di bandiera abbia ratificato il protocollo 1997 e a

tutte le navi che pur battendo bandiera di paesi che non sono firmatari, operano in acque la cui competenza è di paesi aderenti a tale protocollo. Nel dettaglio l'Annesso 6 regola le seguenti emissioni in atmosfera:

- le emissioni provenienti da sostanze che influenzano lo strato di ozono nell'atmosfera come gas refrigeranti e /o antincendio;
- le emissioni di ossidi di azoto e di zolfo presenti nei gas di scarico dei motori a combustione interna;
- i componenti organici volatili (VOC) provenienti dalla zona del carico di navi cisterna;
- le emissioni prodotte da inceneritori.

A bordo della nave sismica e di quella di appoggio, saranno quindi regolarmente controllati i fumi di scarico per l'efficienza dei sistemi di combustione ed acquisite le necessarie certificazioni di conformità alle emissioni di inquinanti atmosferici. La campagna sismica avrà una durata di circa 15 giorni, pertanto gli impatti generati da emissioni in atmosfera sono di carattere temporaneo, strettamente legato alla durata delle operazioni ed alla posizione della nave.

Gli impatti in atmosfera sulla qualità dell'aria legati dalle attività preposte per questa acquisizione sono da ritenersi trascurabili, considerato che non vi sono punti emissivi fissi e che l'unico impatto in atmosfera può derivare dalle emissioni prodotte dalla nave sismica e dalla nave di appoggio del tutto assimilabili alle emissioni attribuibili a imbarcazioni come i pescherecci che abitualmente transitano nella zona.

2.10 Rifiuti

La convenzione MARPOL 73/78 (MARitime POLlution) detta le linee guida sulla prevenzione dell'inquinamento provocato da navi ed i relativi annessi. Rappresenta una convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento a mare legato dalle attività navali ed è il risultato tra la combinazione di due precedenti trattati internazionali:

- La convenzione del 1973, che ha modificato la precedente Convenzione Internazionale per la Prevenzione dell'Inquinamento delle Acque Marine da idrocarburi (OILPOL), firmata a Londra il 12 maggio 1954, ratificata dall'Italia con la Legge 23 febbraio 1961, n. 238;
- Il protocollo del 1978, firmato durante la Conferenza TSPP (*Tanker Safety Pollution Prevention*) organizzata in seguito ai disastri ambientali causati da petroliere alla fine degli anni '70.

La convenzione MARPOL 73/78 col trascorrere del tempo ha subito numerose modifiche ed integrazioni finalizzate a continui aggiornamenti per fornire una maggiore tutela e conservazione dell'ambiente marino, riguarda disposizioni inerenti l'inquinamento prodotto dalle navi sia nelle operazioni di routine, sia in maniera accidentale da qualsiasi sostanza ritenuta inquinante. La convenzione MARPOL, pertanto, rappresenta la principale convenzione internazionale operante ad opera della salvaguardia dell'ambiente marino.

La convenzione a febbraio 2012 è stata ratificata da 151 nazioni aderenti all'IMO ed include al suo interno sei allegati tecnici, di cui i solamente i primi due obbligatori. Tale norma in Italia è stata recepita dalle leggi 462/80 (MARPOL '73) e 438/82 (TSPP '78).

È composta da 20 articoli e 6 annessi. Gli annessi, a loro volta, sono suddivisi in capitoli. Il protocollo aggiornato al 1978 contiene delle modifiche rispetto al testo originale del 1973 seguite all'*International Conference on Tanker Safety Pollution and Prevention* (TSPP '78) che rende obbligatorio quanto contenuto negli annessi I e II. Assieme alle norme per la prevenzione dall'inquinamento da rifiuti, acque da scarico, oli minerali, sostanze nocive, etc., gli annessi stabiliscono l'esistenza di zone speciali nelle quali, per le loro caratteristiche (scarsa circolazione, mari chiusi, etc.), richiedono l'adozione di metodi obbligatori per la prevenzione dell'inquinamento.

Gli annessi si riferiscono a specifiche tipologie di inquinamento o rifiuto prodotto che potrebbero potenzialmente prodursi durante le attività marittime. Nello specifico vengono elencati in (www.naturaitalia.it):